

Aus dem Institut für Zuchthygiene der Universität Zürich

(Direktor: Prof. Dr. K. Zerobin)

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER TEMPERATUR- UND REL. LUFT-
FEUCHTIGKEITSUNTERSCHIEDE ZWISCHEN TIERRAUM UND
STANDARDKÄFIG BEI DER HALTUNG VON RATTEN UNTER
BERÜCKSICHTIGUNG VERSCHIEDENER EINFLÜSSE**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

Veterinär-Medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

KARL WERNER STREBEL

Tierarzt

von Zürich und Muri (AG)

Genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. K. Zerobin, Referent

Prof. Dr. R. Wyler, Korreferent

Zürich 1981

Aus dem Institut für Zuchthygiene der Universität Zürich

(Direktor: Prof. Dr. K. Zerobin)

**UNTERSUCHUNGEN ÜBER TEMPERATUR- UND REL. LUFT-
FEUCHTIGKEITSUNTERSCHIEDE ZWISCHEN TIERRAUM UND
STANDARDKÄFIG BEI DER HALTUNG VON RATTEN UNTER
BERÜCKSICHTIGUNG VERSCHIEDENER EINFLÜSSE**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

Veterinär-Medizinischen Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von

KARL WERNER STREBEL

Tierarzt

von Zürich und Muri (AG)

Genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. K. Zerobin, Referent

Prof. Dr. R. Wyler, Korreferent

Zürich 1981

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG

- 1.1. Grundsätzliches zur Haltung von Versuchstieren
- 1.2. Bedeutung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit bei der Haltung von Versuchstieren
- 1.3. Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Käfig

2. PROBLEMSTELLUNG

3. MATERIAL UND METHODEN

- 3.1. Material
- 3.2. Methoden
 - 3.2.1. Messmethoden
 - 3.2.2. Messanordnung und Messpunkte
- 3.3. Datenerfassung und statistische Auswertung
- 3.4. Abbildungen

4. ERGEBNISSE

- 4.1. Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Käfig über der Einstreu (Experiment 1)
- 4.2. Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Einstreu des Käfigs (Experiment 2)
- 4.3. Ergänzende Untersuchungen
- 4.4. Abbildungen und Tabellen

5. DISKUSSION

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

7. ZUSAMMENFASSUNG

8. LITERATURVERZEICHNIS



ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Erläuterung	Einheit
TR	Lufttemperatur beim Referenzmesspunkt im Tierraum (Raummitte / 1,5 m Höhe)	°C
TK	Lufttemperatur beim Referenzmesspunkt im Käfig (Abb. 2)	°C
TD	Differenz von TK - TR	°C
TE	Lufttemperatur in der Einstreu	°C
rF	relative Luftfeuchtigkeit	%
RFR	rF beim Referenzmesspunkt im Tierraum	%
RFK	rF beim Referenzmesspunkt im Käfig	%
RFKK	RFK korrigiert von TK auf TR	%
RFDK	Differenz von RFKK - RFR	%
RFE	rF in der Einstreu	%
LBM	mittlere Luftbewegung über dem Käfig (5 cm über dem Deckel)	cm/s
LB MAX	mittlere maximale Luftbewegung	cm/s
LB MIN	mittlere minimale Luftbewegung	cm/s
GF	konventionelles Fahrgestell für 18 Makrolonkäfige Typ IV	
GR	Regalgestell mit Blechtablaren gleiche Ausmasse wie GF	
AL	Anordnung der Käfige im Gestell - leer, nur Messkäfig im Gestell	
AV	voll, Messkäfig von 17 besetzten Käfigen umgeben	

Symbolische Kennzeichnung der Kombinationen durch die Faktoren, die in der oberen Stufe vorkommen:

A	Anordnung der Käfige im Gestell - AV
G	Gestellart - GR
B	Besatzdichte - 10 Ratten pro Käfig



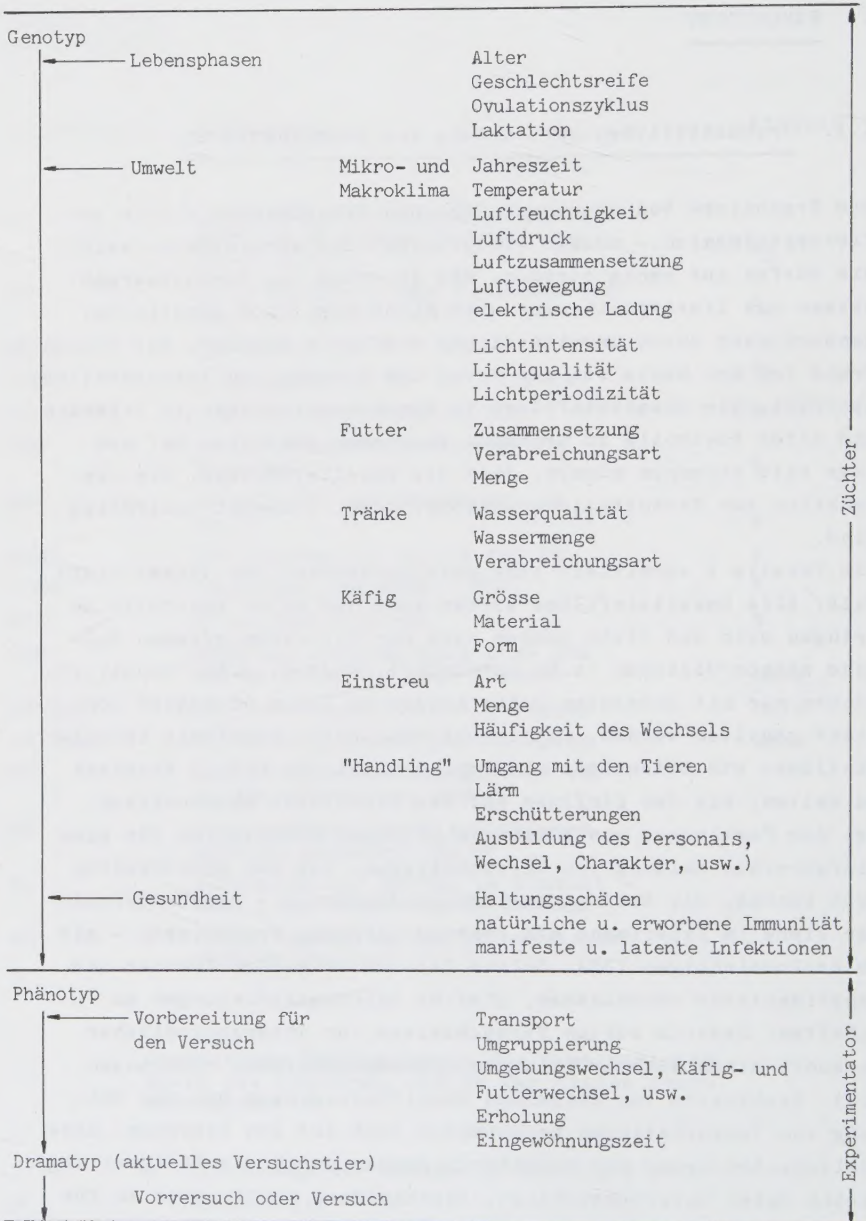
1. EINLEITUNG

1.1. Grundsätzliches zur Haltung von Versuchstieren

Die Ergebnisse von wissenschaftlichen Experimenten - auch von Tierexperimenten - müssen wiederholbar und vergleichbar sein; sie dürfen nur wenig streuen. Die Streuung von Versuchsergebnissen aus Tierexperimenten wird nicht nur durch genetische, sondern auch durch umweltbedingte Einflüsse bewirkt. Aus diesem Grund ist man heute bei der Zucht und Haltung von Versuchstieren bestrebt, die Umwelteinflüsse in ihren Auswirkungen zu erkennen und unter Kontrolle zu bringen. In diesem Bestreben hat man aber bald erkennen müssen, dass die Umwelteinflüsse, die die Reaktion von Versuchstieren mitbestimmen, äusserst vielfältig sind.

Die Tabelle 1 vermittelt eine gute Uebersicht von dieser Vielfalt. Alle Umwelteinflüsse werden wohl nie unter Kontrolle zu bringen sein und viele lassen sich nur mit einem grossen Aufwand standardisieren (z.B. Luftdruck). Andere, z.B. "Handling", können nur mit grösseren Schwankungen um einen Richtwert konstant gehalten werden. Oft ist es einfacher, bestimmte Umwelteinflüsse wie Intensität und Periodizität des Lichts konstant zu halten, als den Einfluss auf das Experiment abzuschätzen. Bei der Festlegung von allgemein gültigen Richtwerten für eine tiergerechte Haltung von Versuchstieren, ist man gleichzeitig auch bemüht, die Belange der Standardisierung - Verwendbarkeit der Tiere im Experiment mit reproduzierbaren Ergebnissen - mit zu berücksichtigen (28). Solche Richtwerte sollen Züchter und Experimentator veranlassen, gleiche Haltungsbedingungen zu schaffen. Dadurch würden Versuchstiere von unterschiedlicher Herkunft einen standardisierten Anpassungszustand mitbringen (18). Richtwerte von einzelnen Umweltbedingungen bei der Haltung von Versuchstieren beschränken sich auf den Tierraum. Eine mögliche Aenderung der Umweltbedingungen durch die Käfighaltung bleibt dabei unberücksichtigt. Insbesondere trifft dies zu für Temperatur und Luftfeuchtigkeit.





Tab. 1: Einflüsse, welche die Reaktion des Versuchstieres bestimmen, Hurni (20)

1.2. Bedeutung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit bei der Haltung von Versuchstieren

Die relative Luftfeuchtigkeit (rF) ist temperaturabhängig. Sie muss daher immer mit der Temperatur zusammen betrachtet werden. Bei vielen Tierexperimenten werden die klimatischen Verhältnisse nur durch diese beiden Umweltfaktoren berücksichtigt. Temperatur, rF, und auch die Luftbewegung bestimmen massgebend die Kühlwirkung der Umwelt und damit die Wärmeabgabe sowie die Stoffwechselrate des Tieres (19, 25, 47, 49). Der Einfluss von Temperatur und rF ist auch auf eine Reihe weiterer physiologischer Eigenschaften bekannt, wie Körpertemperatur, Wachstum, Blutzirkulation und Reproduktionsrate (8, 19, 35, 37). Mehrere zusammenfassende Arbeiten orientieren über Wirkung und Bedeutung von verschiedenen Klimafaktoren in pharmakologischen, toxikologischen und mikrobiologischen Tierexperimenten (3, 4, 8, 14, 20, 23, 25, 26, 30, 36, 47, 48). Von den verschiedenen Klimafaktoren ist die Wirkung der Temperatur auf das Tierexperiment besonders vielfältig untersucht worden. Viele dieser Arbeiten berichten über Wirkungen von relativ grossen Temperaturstufen ($10^{\circ} - 15^{\circ}\text{C}$) und nur wenige untersuchten kleine Temperaturunterschiede bei Tierexperimenten (14, 23, 25, 49). Ueber die Bedeutung der rF bei der Zucht und Haltung von Versuchstieren ist bis heute, wie auch aus neueren Uebersichtsarbeiten hervorgeht (7, 25), im Vergleich zur Temperatur weniger bekannt.

In Bezug auf die Haltungsbedingungen dürfen Zucht und Experiment nicht getrennt betrachtet werden, denn es ist allgemein bekannt, dass die Aufzuchtbedingungen, zu denen auch die Temperatur und die rF gehören, die spätere Reaktionsweise der Tiere im Experiment mitbestimmen.

Aus hygienischen und wirtschaftlichen Ueberlegungen, wie auch aus Gründen der Standardisierung, ist man heute bestrebt, die Käfighaltung bei Versuchstieren einfach und rationell zu gestalten. So wird den Tieren nur im Bedarfsfall Nistmaterial zur Verfügung gestellt. Damit wird ihnen die Möglichkeit genommen, sich durch ein Nest wirksam gegen Klimaschwankungen im Tierraum zu schützen; je nach Art der Käfighaltung sind sie mehr

oder weniger direkt dem Raumklima ausgesetzt. Die Klimatisierung des Tierraumes ist heute weitgehend ein integrierter Teil der Labortierhaltung geworden. Daher kommen der Temperatur und der rF in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu.

1.3. Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Käfig

Aus Uebersichtsarbeiten über den Einfluss wichtiger Umweltfaktoren auf das Versuchstier kann man entnehmen, dass die klimatischen Verhältnisse des Tierraums nicht unbedingt auf die Verhältnisse im Käfig zu übertragen sind. Es wird angenommen, dass je nach Käfig und Lüftungsart bedeutende Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede vorhanden seien (9, 31, 41). Weihe (44) hat in mit Ratten besetzten Käfigen eine 2 - 4 °C höhere Lufttemperatur und eine 20 - 30 % höhere rF als im Tierraum gefunden. Murakami (32) hat diese Ergebnisse auf Grund seiner Untersuchungen mit Mäusen aber nicht bestätigen können. Bei seinen Untersuchungen hat er zwischen Käfig und Tierraum keine nennenswerten Temperaturunterschiede gefunden und nur geringe rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede (4%) gemessen. Die Verwendung von Filterdeckeln auf geschlossenen Käfigen zur Infektionsprophylaxe bei kleinen Labortieren hat Anlass zu weiteren Untersuchungen von Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede gegeben. Simmons et al. (40) haben dabei Temperaturdifferenzen von 1,4 - 3,9 °C und rel. Luftfeuchtigkeitsdifferenzen von 7 - 20 % zwischen Klimakammer und Käfiginnern bei der Haltung von Mäusen gemessen. Woods (51) und Besch (6) haben in den letzten Jahren diese Fragestellung erneut aufgegriffen. Woods (51) hat einige Wechselwirkungen zwischen Käfig und Raum systematisch bearbeitet. Dabei hat er in der Beziehung zwischen Käfig und Raum zwei Lüftungssysteme unterschieden: Beim ersten ist der Käfig mit dem Raum und beim zweiten direkt mit dem Zuluftsystem gekoppelt. Bei Käfigen, die mit dem Raum gekoppelt sind, hängt der Luftwechsel von der Luftdiffusion im

Raum und von den Konvektionsströmungen im Käfig ab. Bei der heutigen Labortierhaltung werden die Käfige überwiegend auf diese Art und Weise belüftet. Woods (51) hat in seinen Untersuchungen vor allem Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Käfig und Raum in Abhängigkeit der Ventilationsrate des Raumes, der Käfigkonstruktion und des Käfigmaterials bei verschiedenen Tierarten gemessen. Um die Wärme- und Feuchtelasten der Tiere genau definieren zu können, hat er sie in den Käfigen mittels spezieller apparativer Vorrichtungen simuliert. Die Untersuchungen bei Ratten und Hamstern sind in amerikanischen Standardkunststoffkäfigen mit Drahtdeckel (Bodenfläche: 1300 cm^2 , Höhe: 15 cm) durchgeführt worden. Bei Käfigen mit 4 adulten Ratten, bei einer Ventilationsrate von 10/h, hat er eine Trockenkugeltemperaturdifferenz von $2,8^\circ\text{C}$ und eine Taupunktsdifferenz von 8°C gegenüber dem Raum gemessen. Mit der erwähnten Simulation hat er einen Temperaturunterschied von $1,7^\circ\text{C}$ und einen Taupunktunterschied von $2,1^\circ\text{C}$ gefunden. Die Erniedrigung oder Erhöhung der Ventilationsrate auf 5 oder 15 pro Stunde hat sich, besonders bei den Käfigen mit simulierten Lasten, wenig auf die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede zum Raum ausgewirkt. Auch Besch (6) hat bei einer Steigerung der Ventilationsrate von 6 auf 18 pro Stunde keinen signifikanten Effekt auf die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen geschlossenem Käfig und Tierraum feststellen können. Bei diesen Untersuchungen sind die Tiere ebenfalls in schuhschachtelähnlichen Standardkäfigen aus Polypropylen mit Drahtdeckel gehalten worden. Besch (6) hat z.B. in Käfigen mit vier adulten Ratten bei Messungen zwischen 16⁰⁰ und 17⁰⁰ Uhr einen durchschnittlichen Unterschied in der Trockenkugeltemperatur von $7,7^\circ\text{C}$ und in der Taupunkttemperatur von $10,7^\circ\text{C}$ gegenüber dem Raum gemessen. Auf Grund der Versuchsbeschreibung ist anzunehmen, dass er die Ratten bei den erwähnten Untersuchungen in Käfigen mit gleichen Dimensionen gehalten hat wie Woods (51).

Bei den vorhin aufgeführten Arbeiten ist der Einfluss der Tierzahl pro Käfig und des Anordnungssystems der Käfige auf die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede wenig oder gar nicht berücksichtigt worden. Ebenso wenig sind die Verhältnisse

in der Einstreu und deren Auswirkung auf das Mikroklima des Käfigs untersucht worden. Der Zustand der Einstreu ist aber massgebend für den Reinigungszyklus der Käfige. In Hygieneempfehlungen für Versuchstierbereiche wird grundsätzlich bei der Haltung auf Einstreu angeraten, diese zu wechseln, wenn der Feuchtgehalt zusammen mit Futterresten und Ausscheidungen der Tiere ein Keimwachstum begünstigt (17).

Aus bakteriologischen Arbeiten (29, 34) ist bekannt, dass in einem Substrat die Stoffwechselaktivität und das Wachstum vieler Bakterienarten neben der Temperatur in einem hohen Masse von dessen Wasseraktivität abhängt. Die Wasseraktivität der Einstreu ist im vorliegenden Fall gleich der r_F in der Einstreu. Diese Zusammenhänge haben Anlass gegeben, die Verhältnisse in der Einstreu mit zu untersuchen.

2. PROBLEMSTELLUNG

Die vorliegende Arbeit möchte einigen dieser unbehandelten Fragen über Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Käfig und Tierraum nachgehen. Dabei sollen in einem Standardkäfig, bei der Haltung von Ratten, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede gegenüber dem Tierraum gemessen und im einzelnen folgende Einflüsse berücksichtigt werden:

- über der Einstreu: Tierzahl pro Käfig (Besatzdichte), Anordnung der Käfige im Gestell (Käfiganordnung) und Gestellart.
- in der Einstreu: Tierzahl pro Käfig, Nutzzeit der Einstreu, Luftfeuchtigkeit des Tierraums und Käfiganordnung bzw. Luftbewegungen über den Käfigen.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. Material

Als Versuchstiere für die vorliegenden Untersuchungen wurden etwa einjährige Rattenweibchen unseres Auszuchtstammes Zur: SIVZ (13) eingesetzt. Die Untersuchungen wurden in der Zeit vom Herbst 1979 bis Frühjahr 1980 in der Labortierzuchtanlage des Instituts für Zuchthygiene durchgeführt. Das mittlere Körpergewicht der Ratten erhöhte sich während der Versuchsperiode von 325 g auf 373 g. Die Messkäfige wurden mit fünf oder zehn Ratten, die angrenzenden Käfige mit sechs Weibchen (KG: 360 ± 20 g) oder mit vier Männchen (KG: 580 ± 30 g) vom gleichen Alter besetzt (Abb. 1, 3 und 4). Die Ratten wurden in vielfach verwendeten Standardkäfigen (26, 50) gehalten, welche unter dem Namen Makrolonkäfig Typ IV bekannt sind. Der Käfig besteht aus einer Kunststoffwanne aus Polycarbonat (Makrolon^R) und einem Drahtdeckel. Das Würfelfutter und die Trinkflasche werden von einer Futterraufe aufgenommen, die in den Drahtdeckel eingelassen ist (Abb. 2). Der Abstand zwischen den längsverlaufenden Drähten beträgt 7 - 8 mm. Der Käfig ist innen 550 mm lang, 330 mm breit und 195 mm hoch und weist eine Bodenfläche von 1815 cm^2 auf. Die Messkäfige wurden konstant mit 500 g entstaubten Sägespänen eingestreut. Die Einstreu bestand aus einer Mischung von ca. 90 % Fichten- und 10 % Tannenholz. Die Spangrösse betrug im Durchmesser max. 1,5 mm, die Länge schwankte von 1 - 6 mm. 500 g von dieser Einstreu nahmen ein Volumen von 3,6 - 3,8 l ein. Den Ratten wurde ad libitum ein Standardfutter für Mäuse und Ratten (Labortierfutter 850, Nafag AG, Gossau SG) und normales Leitungswasser über Makrolontrinkflaschen (700 ml) mit stumpfen Tränke- deckel angeboten. Der Durchmesser der Trinköffnung in diesem konischen Tränke- deckel schwankt zwischen 0,7 und 0,8 mm.

Die Käfige wurden auf zwei unterschiedlichen Gestellen angeordnet: 1. auf Fahrgestellen, bei denen die Käfige in sechs Etagen auf schmalen Schienen stehen, die eine begrenzte Luftzirkulation zwischen Etagen zulassen und 2. auf Regalgestellen mit sechs

Blechtafiaren, die keine Zirkulation zwischen den Etagen ermöglichen. Beide Gestelle sind 1280 mm lang, 690 mm breit, 1750 mm hoch und bieten 18 Käfigen Platz (Abb. 3).

Für die Untersuchungen wurden in einem Tierraum mit künstlicher Belüftung zwei Fahrgestelle 15 cm von der Wand entfernt und zwei Regalgestelle dicht an der Wand aufgestellt (Abb. 1).

Um im Raum bestimmte Luftfeuchten erzeugen und konstant halten zu können, wurde im Zuluftkanal eine Nachbefeuchtungsanlage eingebaut (Abb. 1).

Bei beständigen Witterungsverhältnissen war es möglich, mit dieser Anlage die r_F im Raum mit einer Abweichung von 1 % um den Sollwert konstant zu halten. Die Raumtemperatur wurde durch die Lüftungsanlage in tolerierbaren Grenzen konstant gehalten (siehe dazu in Tab. 2 und 4 - 6). Die Zuluft wurde in der Raummitte an der Decke über einen Kanal mit einem Anemostaten in den Raum eingeblasen. Die deutlichen Strömungsrichtungen sind in der Abb. 1 durch feine Pfeile angedeutet.

Die Abluft wurde durch eine Oeffnung in der Wand unterhalb der Decke abgesogen. Die mittlere Ventilationsrate betrug 13/h bei einer Abweichung von $\pm 1,5/h$. Das Licht wurde täglich mit einer Schaltuhr um 06⁰⁰ ein- und um 18⁰⁰ ausgeschaltet.

3.2. Methoden

3.2.1. Messmethoden

Die Luftfeuchtigkeit wurde mit einem kombinierten elektronischen Feuchte-/Temperaturmessgerät (Rotronic AG, Zürich) gemessen. Dieses Messgerät besteht aus einem Messwertgeber und einem Messumformer, der mit oder ohne Anzeigeinstrument ausgerüstet ist. Die Klimafühler werden über ein Kabel mit dem Messumformer verbunden. Die Messwertgeber, eine winzige Feuchtemesszelle und eine winzige Temperaturmesszelle, sind in der Fühlerspitze eingebaut. Die Feuchtemesszelle besteht aus einer Quarzplatte, auf der zwischen zwei Platinelektroden eine kleinste Menge einer

hygroskopischen Substanz aufgebracht ist. Die die Feuchtemesszelle umgebende Luftfeuchtigkeit bestimmt den Wert des Wechselstromwiderstandes der hygroskopischen Substanz. Steigt die Luftfeuchtigkeit an, so nimmt die hygroskopische Substanz, nach dem Prinzip der Gleichgewichtsfeuchte, dampfförmiges Wasser auf und ändert damit ihren Widerstand (Impedanz). In der Feuchtemesszelle ist zusätzlich eine Temperaturkompensation eingebaut, welche die Temperaturdrift der hygroskopischen Substanz ausgleicht. Der Impedanzwert wird im Messumformer gewandelt und kann als rel. Luftfeuchtwert auf dem Anzeigeinstrument abgelesen oder mit einem Schreiber registriert werden. Die Messfühler können in luftdichten Kammern über genau eingestellten Salzlösungen auf $\pm 1,5\%$ rF genau geeicht werden. Die absolute Genauigkeit des Messgerätes beträgt max. 2% rF, und zwar über einen Messbereich von $10 - 95\%$ rF. Die Reproduzierbarkeit liegt dabei unter 1% rF. Wegen der Feinheit der Messfühler, der Genauigkeit über einen grossen Messbereich und der weitgehenden Unempfindlichkeit gegen Ammoniakkonzentrationen, wie sie in Käfigen vorkommen können, eignet sich das Messsystem gut für derartige Untersuchungen. Die rF im Tierraum (RFR) wurde mit dem Raumlufthühler (Luftfühler, WF-TT) und dem Messumformer (Hygroskop Messumformer MS-TT) gemessen. Die Messsignale wurden direkt von einem Zweikanal-Linienschreiber kontinuierlich aufgezeichnet. Zur Steuerung der Nachbefeuchtungsanlage wurde ein Messumformer mit fest aufgesetztem Messfühler verwendet, der im Abluftkanal des Tierraums angebracht wurde. Die rF im Käfig über der Einstreu (RFK) wurde mit einem anzeigenden Hygroskop (Hygroskop DT) und mit stabförmigen Messfühlern von 11 mm Durchmesser gemessen (Klimafühler KF-TT mit Schutzhülse). Eine Sintermetallhülse aus rostfreiem Stahl schützte die Messzellen vor Beschädigung und Staub.

Die rF in der Einstreu (RFE) des Käfigs konnte mit den stabförmigen Messfühlern direkt an verschiedenen Punkten gemessen werden. Dabei überraschte die Feststellung, dass RFE deutlich weniger durch die Temperatur beeinflusst wurde, als RFK über der Einstreu. Geht man dieser Beobachtung nach, so stösst man auf die Gesetze der Gleichgewichtsfeuchte hygroskopischer Stoffe. In den Untersuchungen wurde als hygroskopisches Einstreumaterial

ein Holzgranulat verwendet. Die gesetzmässigen Beziehungen zwischen Holzfeuchte, r_F und Temperatur sind in der Holzphysik seit langem bekannt und ausführlich beschrieben (21, 43). Aus dem Diagramm von Loughborough (Abb. 5), das neben der Beziehung zwischen Holzfeuchte und r_F auch die Beziehung zur Temperatur beschreibt, war zu entnehmen, dass eine Temperaturschwankung von $5 - 10^\circ\text{C}$ im Bereich zwischen 20° und 30°C den RFE-Wert höchstens um $1 - 2\%$ r_F verändert. Deshalb war es nicht nötig, bei den Messungen von RFE, die Temperatur der Einstreu (TE) mitzubestimmen. Für die Bestimmungen der Unterschiede zwischen RFE und RFR, sowie für die Schätzung der Effekte von einzelnen Faktoren auf RFE musste ein repräsentativer Wert für die Einstreufeuchtigkeit gemessen werden. Die Voruntersuchungen mit der direkten Methode zeigten, dass RFE zwischen einzelnen Orten in der Einstreu beträchtlich schwanken konnte. Die Bildung eines Mittelwertes aus mehreren direkten Einzelmessungen in der Einstreu mit dem Klimafühler erwies sich, wegen der Trägheit des Hygroskops, als zu zeitaufwendig, denn es musste, besonders bei höheren Feuchten, eine längere Ausgleichszeit zwischen Einstreu und Klimafühler beachtet werden. Zudem war es nicht immer möglich, an jedem beliebigen Ort die Fühlerspitze genügend tief in die Einstreu zu tauchen.

Zur Bestimmung von RFE bot sich, auf Grund der holzphysikalischen Gesetze, eine indirekte Methode an:

Indirekte Methode zur Bestimmung von RFE in Einstreuproben

Bei dieser Methode wurde das Darrverfahren (11), das zur Bestimmung der Holzfeuchte dient, wie folgt angewendet: Aus der Einstreu wurden am Ende einer bestimmten Nutzzeit des Käfigs drei Proben von ca. $10 - 30\text{ g}$ entnommen und in luftdicht verschliessbare Gläser abgefüllt. Das Einstreugewicht (EG_f) wurde auf 10 mg genau bestimmt. Danach wurden die Einstreuproben bei offenen Gefässen in einem Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz während ca. 14 h bei einer Temperatur von $103 \pm 3^\circ\text{C}$ getrocknet. Nach dem Abkühlen der verschlossenen Gefässe auf Zimmertemperatur, und nach dem Ausgleichen des Unterdrucks in den Gefässen wurde das Trockengewicht (EG_t Darrgewicht) der

Proben bestimmt. Nach der Formel für die Berechnung der Holzfeuchte $EG_f - EG_t / EG_t \times 100 \%$ (11), wurden die Holzfeuchten der Proben bei der Entnahme berechnet. Aus der Holzfeuchte wurde mittels der Diagramme über die Beziehung zwischen Holzfeuchte und rF, der entsprechende RFE-Wert bei 23 °C herausgelesen. Bei der Verwendung des Diagramms von Loughborough (Abb. 5) stimmten die resultierenden RFE-Werte für Holzfeuchten über 12 % gut mit den direkt gemessenen Werten überein. Bei Holzfeuchten unter 12 % zeigte sich eine bessere Übereinstimmung mit den Werten aus einer Tabelle von Vorreiter (43, Abb. 6). Da die Unstimmigkeiten erst im Laufe der Untersuchung bemerkt wurden, wurden die RFE-Werte für Holzfeuchten über 12 % aus dem Diagramm von Loughborough (Abb. 5) und für Holzfeuchten unter 12 % aus dem Diagramm nach Tabellenwerten von Vorreiter (Abb. 6) ermittelt. Da der Vergleich der beiden Methoden zur Bestimmung von RFE keine signifikanten Unterschiede ergab, entschieden wir, die RFE mit der indirekten Methode zu bestimmen. Diese Methode brachte zusätzlich den Vorteil, dass mit ihr eine Gesamtbestimmung der Einstreufeuchtigkeit durchgeführt werden konnte. Bei der Gesamtbestimmung wurde die genutzte Einstreu eines Käfigs, nachdem die drei Einzelproben daraus entnommen waren, auf 0,5 g genau gewogen, um das feuchte Einstreugewicht (EG_f) zu bestimmen. Danach wurde die Einstreu bis zur Gewichtskonstanz (3-4 Tg) auf herrschende Raumfeuchtigkeit trocknen gelassen. Der gleichmäßig feuchten Einstreu wurde sodann eine Probe zur Bestimmung der restlichen Holzfeuchte entnommen. Daraus konnte das trockene Einstreugewicht (EG_t) der gesamten Einstreu berechnet werden. Aus EG_f und EG_t konnte nach der erwähnten Formel (11) die ursprüngliche Holzfeuchte der gesamten Einstreu berechnet und mit Hilfe der Diagramme der entsprechende RFE-Wert ermittelt werden.

Die Lufttemperaturen im Raum (TR) und im Käfig (TK) wurden ebenfalls mit dem kombinierten elektronischen Feuchte-/Temperaturmessgerät gemessen. Die Temperaturmesszelle in der Spitze des Klimafühlers enthält einen temperaturempfindlichen Messwiderstand aus Platin (Pt -100). Die absolute Genauigkeit der Messzelle beträgt 0,5 °C. Die Reproduzierbarkeit lag bei Vergleichsmessungen unter 0,2 °C. Als Kontrolle diente ein Präzisions-

thermometer aus Glas mit Quecksilberfüllung. Die Temperatur in der Einstreu (TE) und an verschiedenen Punkten des Tierraums wurde mit einem rasch reagierenden Temperaturfühler (Pt-100 ohne Schutzhülse) gemessen.

Die Luftbewegungen wurden mit einem Hitzdrahtanemometer (thermo-air, Firma Schildknecht, Gossau ZH) gemessen. Das Gerät besteht aus einem Messumformer mit Anzeigeinstrument und einer richtungsunabhängigen Messsonde. Der Messwertgeber der Messsonde ist ein sehr kleiner, temperaturabhängiger Widerstand (NTC) der aufgeheizt wird. Die Luftströmung kühlt die Messzelle ab und ändert dadurch den Wert des Widerstands. Der Widerstandswert wird im Messumformer umgewandelt und kann auf dem Anzeigeinstrument als Luftgeschwindigkeit abgelesen werden. Die zwei Messbereiche reichen von 0 - 100 cm/s und von 1 - 5 m/s. Die Messgenauigkeit beträgt $\pm 2\%$ vom Endwert des jeweiligen Messbereichs. Zur Messung einer mittleren Luftbewegung kann mit stark gedämpfter und zur Messung von Maximal- und Minimalwerten bei Turbulenzen mit ungedämpfter Anzeige gemessen werden. Luftbewegungen wurden über dem Deckel des Messkäfigs und im Zuluftkanal gemessen. Die Messungen im Zuluftkanal dienten zur Bestimmung und zur Kontrolle der Ventilationsrate des Tierraums.

Als ergänzende Untersuchungen wurden im Käfig und im Raum vereinzelt NH_3 - und CO_2 -Konzentrationen gemessen. Die Messungen wurden mit einem Dräger-Gasspürgerät durchgeführt (Drägerwerk AG, Lübeck-Deutschland). Das Gasspürgerät besteht aus einer Handbalgpumpe und einem gasspezifischen Anzeigeröhrchen aus Glas. Zur Messung einer spezifischen Gaskonzentration wird eine bestimmte Menge Luft mit der Balgpumpe durch das Messröhrchen gesogen. Bei Ammoniak beruht die Anzeige im Messröhrchen auf der Farbreaktion des Ammoniak mit Bromphenolblau und Säure. Bei CO_2 beruht die Anzeige auf der Reaktion mit einer Hydrazinverbindung, deren Verbrauch durch Farbumschlag eines Redoxindikators angezeigt wird. Die relative Standardabweichung dieser Messmethode bei genau festgelegten Gaskonzentrationen, schwankt bei mehreren Messungen zwischen 10 und 15 %.

Der mittlere Trinkwasserverbrauch pro Käfig und Tag und pro Tier und Tag (Tab. 4 - 6 und 10), wurde aus Messungen ermittelt, die in Abständen von 1 - 2 Tagen über den ganzen Messzyklus durch-

geführt wurden.

Das mittlere Körpergewicht pro Tier und pro Käfig (Tab. 4 - 6) wurde aus Wägungen ermittelt, die in Abständen von 2 - 3 Wochen während der ganzen Untersuchungsdauer durchgeführt wurden.

3.2.2. Messanordnung und Messpunkte

Im Tierraum betrugen die Temperatur- bzw. die rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen oberster und unterster Käfigreihe in den verschiedenen Sektoren des Raumes max. 1 °C bzw. 2 % rF. Es genügte deshalb, bei den Untersuchungen nur an einem Punkt Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu bestimmen. So wurde als Referenzpunkt für TR und RFR ein Punkt in der Raummitte auf Höhe der Messkäfige festgelegt. Dieser Ort wurde weder durch Zuluftströmungen, noch durch Konvektionsströmungen aus den Käfigen direkt beeinflusst. Alle Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Käfig wurden auf diesen Referenzpunkt bezogen. Während den Untersuchungen wurde mit einem Klimafühler des Hygroskops am Referenzpunkt TR und RFR gemessen und die Werte mit einem Linienschreiber kontinuierlich aufgezeichnet (Abb. 8).

Im Käfig wurden in verschiedenen Bereichen, im Gegensatz zum Tierraum, recht unterschiedliche Temperaturen und rF gefunden. Es drängte sich deshalb auf, die Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsverhältnisse über der Einstreu und in der Einstreu einzeln zu untersuchen.

Experiment 1: Bestimmung von Temperatur und rF im Käfig über der Einstreu, unter Berücksichtigung von Besatzdichte des Käfigs, Gestellart und Käfiganordnung.

Für die Untersuchung der Unterschiede zum Tierraum, sollten über der Einstreu Temperaturen und rF gemessen werden, denen die Tiere im Käfig normalerweise ausgesetzt sind. Der Messpunkt für TK und RFK wurde deshalb auf Kopfhöhe der Ratten (3-5 cm über der Einstreu) in der Käfigmitte gewählt. Um eine direkte Beein-

flussung durch die Tiere zu vermeiden, wurde der Messbereich, in den der stabförmige Klimafühler eingeschoben werden konnte, mit einem zylindrischen Drahtkäfig geschützt. Der Schutzkäfig wurde senkrecht montiert und sein Durchmesser so gross gewählt, dass die Messungen nur unwesentlich durch Tiere beeinflusst werden konnten, die sich dicht um den Schutzkäfig gruppieren würden. Beim Plazieren des Schutzkäfigs wurde weiter darauf geachtet, dass sich die Ratten, auch bei hoher Besatzdichte, ungezwungen im vorderen oder hinteren Bereich des Käfigs gruppieren konnten. Messanordnung und Messpunkt wurden in Abb. 2 dargestellt. Da für die Messungen im Käfig zwei Klimafühler zur Verfügung standen, wurde in zwei Käfigen gleichzeitig gemessen, und zwar zwei Stunden (zwischen 10^{00} - 15^{00}) in der Ruhephase, und zwei Stunden (zwischen 19^{00} - 24^{00}) in der Aktivphase der Tiere. Dabei wurde mit einer Schaltuhr abwechselnd fünf Minuten im einen und fünf Minuten im anderen Käfig gemessen. Die Messwerte wurden über die ganze Messdauer mit einem Linienschreiber registriert. Um die Einstreuefeuchtigkeit zu berücksichtigen, wurden die Messungen am dritten und vierten Nutztag des Käfigs durchgeführt (Abb. 8).

Um den Effekt der Besatzdichte des Käfigs, der Gestellart und der Käfiganordnung abschätzen zu können, wurde das Experiment 1 nach dem Muster eines Versuchs mit mehreren Faktoren in zwei extremen Stufen aufgebaut (24). Daraus ergaben sich acht verschiedene Faktorkombinationen für die Messung der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede. Siehe dazu den Kopf der Tab. 2, auf dem die einzelnen Kombinationen mit den Faktoren: Besatzdichte (B) in den beiden Stufen 5 und 10 adulte Rattenweibchen pro Käfig, Gestellart (G) mit den beiden Stufen Fahrgestell (GF) und Regalgestell (GR) und Käfiganordnung (A) mit den beiden extremen Stufen Anordnung leer (AL) und Anordnung voll (AV) aufgeführt sind. Eine Versuchsanordnung mit vier der acht möglichen Kombinationen wurde in Abb. 3 dargestellt. Mit einer Versuchsanordnung konnten vier Kombinationen gemessen werden. Um die Reproduzierbarkeit zu prüfen, wurden die Messungen jeder Kombination viermal wiederholt. Ueber jedem Messkäfig in den verschiedenen Kombinationen wurde zusätzlich die Luftbewegung gemessen und registriert. Für die Bestimmung der mittleren Luft-

bewegung wurde zehn Minuten mit stark gedämpfter und zur Bestimmung der maximalen und minimalen Luftbewegung zehn Minuten mit ungedämpfter Anzeige gemessen und mit einem Linienschreiber registriert (Abb. 7).

Experiment 2: Bestimmung von Temperatur und rF in der Einstreu unter Berücksichtigung der Besatzdichte des Käfigs, der Nutzzeit der Einstreu, der RFR und der Käfiganordnung.

Unmittelbar nach dem Wechseln der Käfigwanne wurde an neun Punkten in der Einstreu die Temperatur (TE) bestimmt. Die Messungen bestätigten die Annahme, dass TE normalerweise zwischen TK und der Temperatur an der Oberfläche der Tiere schwankt. Da TE aus bereits ermittelten Grössen abgeleitet werden kann, wurde auf eine regelmässige Messung von TE verzichtet. Die Abb. 4 soll die Versuchsanordnung in Experiment 2 veranschaulichen. Das Experiment 2 wurde, wie Experiment 1, als Versuch mit mehreren Faktoren in verschiedenen Stufen aufgebaut. Dabei wurden die Faktoren Besatzdichte in zwei Stufen (5 und 10 Ratten pro Käfig), RFR in drei Stufen (30, 50 und 70 %) und die Nutzzeit in vier Stufen (1, 3, 5 und 7 Tg) untersucht. Daraus ergaben sich die 24 verschiedenen Faktorkombinationen, die in den Köpfen der Tab. 4 - 9 dargestellt sind. Die 24 Kombinationen wurden bei den beiden extremen Käfiganordnungen 1 und 2 gemessen (siehe Abb. 4). Bei der Käfiganordnung 1 wurden in einem Messzyklus vier Käfige pro Faktorkombination gemessen. Bei der Käfiganordnung 2 wurde, um den Effekt einer erhöhten Luftbewegung (10 - 25 cm/s anstelle von 0 - 5 cm/s) zu untersuchen, ein Käfig pro Messzyklus gemessen.

Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu prüfen, wurde jeder Messzyklus einmal wiederholt.

Die Bestimmung von CO_2 - und NH_3 - Konzentrationen in der Raum- und in der Käfigluft, wurde an den erwähnten Referenzmesspunkten durchgeführt. Die NH_3 - Bestimmungen wurden vor allem bei Kombinationen durchgeführt, die hohe RFE-Werte erwarten liessen. Die CO_2 - Konzentrationen wurden in den Messkäfigen im Regalgestell bei der Käfiganordnung 1 gemessen, wo die Lüftungsverhältnisse am schlechtesten waren.

3.3. Datenerfassung und statistische Auswertung

Die Aufzeichnungen der Mehrkanalschreiber wurden für die Datenschemata folgendermassen verarbeitet: Mittelwert und Standardabweichung von TR und RFR wurden aus Mittelwerten von sechstündigen Messaufzeichnungen berechnet. Mittelwert und Standardabweichung von TK und RFK pro Käfig wurde aus Mittelwerten von fünfminütigen Messaufzeichnungen berechnet. LBM wurde aus zehn Einzelwerten im Abstand von einer Minute und LB MAX bzw. MIN aus zehn maximalen bzw. minimalen Einzelwerten innerhalb einer zehnminütigen Messzeit berechnet (Abb. 7). Die übrigen Messwerte wurden von einzelnen Messprotokollen auf die Datenschemata übertragen.

Die Untersuchungsergebnisse von Experiment 1 und teilweise von Experiment 2, wurden unter Anwendung von BMDP-Computerprogrammen (12) am Rechenzentrum der Universität Zürich statistisch ausgewertet. Das Signifikanzniveau wurde bei allen Prüfverfahren mit $P = 0.05$ festgelegt. Der Unterschied von Temperatur und rF zwischen den einzelnen Faktorkombinationen, sowie der Vergleich der beiden Methoden zur Bestimmung von RFE, wurden mit einer einfachen Varianzanalyse geprüft. Die Signifikanz der Effekte der untersuchten Faktoren beim Versuch mit mehreren Faktoren in zwei oder mehreren Stufen, wurde mit der Varianzanalyse nach Linder (24) untersucht.

Die Abhängigkeit der Einstreufeuchtigkeit vom Trinkwasserverbrauch wurde mittels eines Punktediagramms beurteilt.

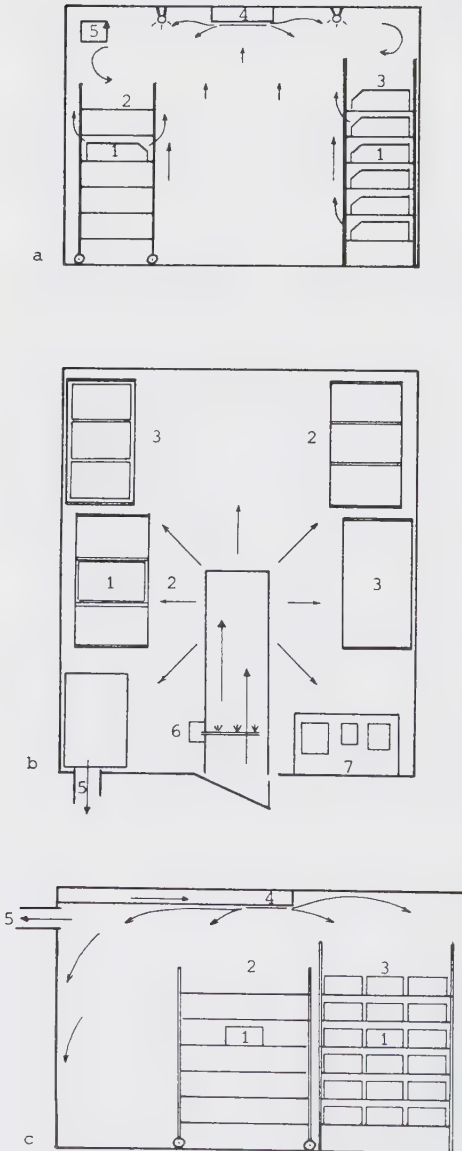
3. 4. Abbildungen

Abb. 1: Untersuchungsraum eingerichtet im Querschnitt (a), Grund- (b) und Seitenriss (c). Die feinen Pfeile deuten Luftströmungen an. 1 Messkäfige, 2 Frageställe mit Konsolen und Käfiganordnung leer, 3 Regalgestelle mit Blechtafeln und Käfiganordnung voll, 4 Zuluftkanal mit Anemostat, 5 Abluftkanal, 6 Nachbefeuchtungsanlage, 7 Tisch mit Messapparaturen, Maßstab:

50 cm

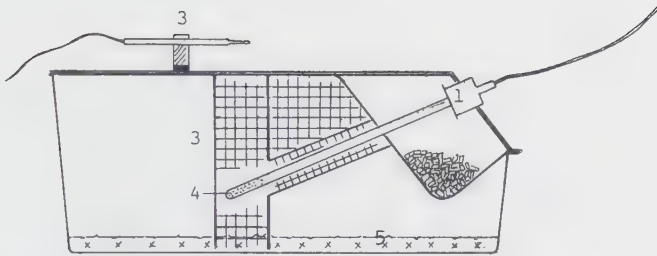


Abb. 2: Messanordnung und Messpunkte im Käfig über der Einstreu. 1 Klimafühler des Hygroskops, 2 Messsonde des Anemometers, 3 Schutzkäfig aus Drahtgitter, 4 Messpunkt im Käfig, 5 Einstreu



Abb. 3: Versuchsanordnung bei Experiment 1. Von den acht untersuchten Faktorkombinationen sind die Kombinationen 1, 2, 4 und 7 dargestellt. Die Messkäfige (MK) sind bei diesen Kombinationen mit fünf Ratten besetzt.

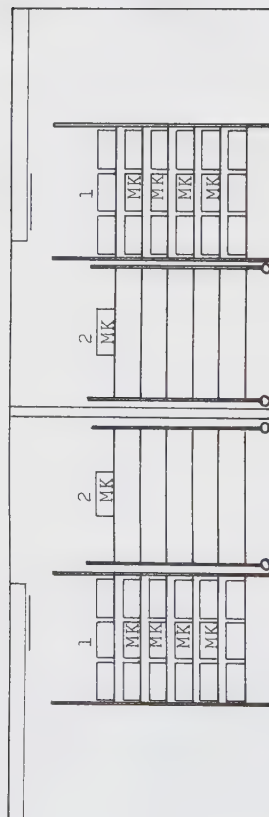


Abb. 4: Versuchsanordnung bei Experiment 2.1 Käfiganordnung 1 (LBM: 0 - 5 cm/s) Regalgestell mit vier Messkäfigen (MK), 2 Käfiganordnung 2 (LBM: 10 - 25 cm/s) Fahrgestell mit einem Messkäfig.

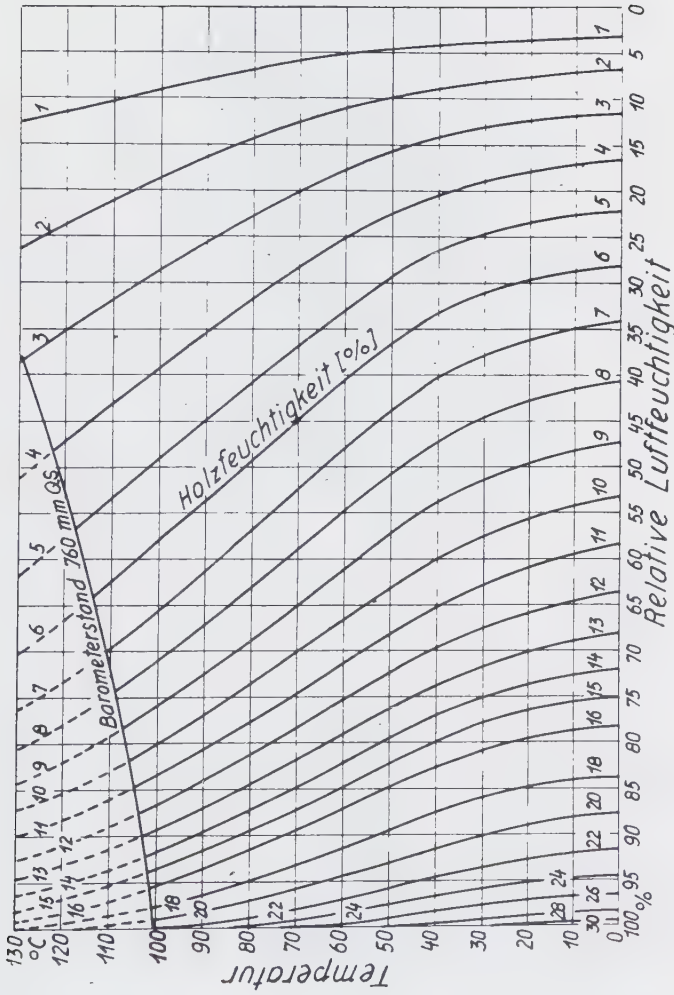


Abb. 5: Beziehung zwischen Temperatur, rF und Holzfeuchtigkeit für Fichtenholz nach W.K. Loughborough, umgerechnet und extrapoliert von K. Keylwerth, Vorreiter (43).

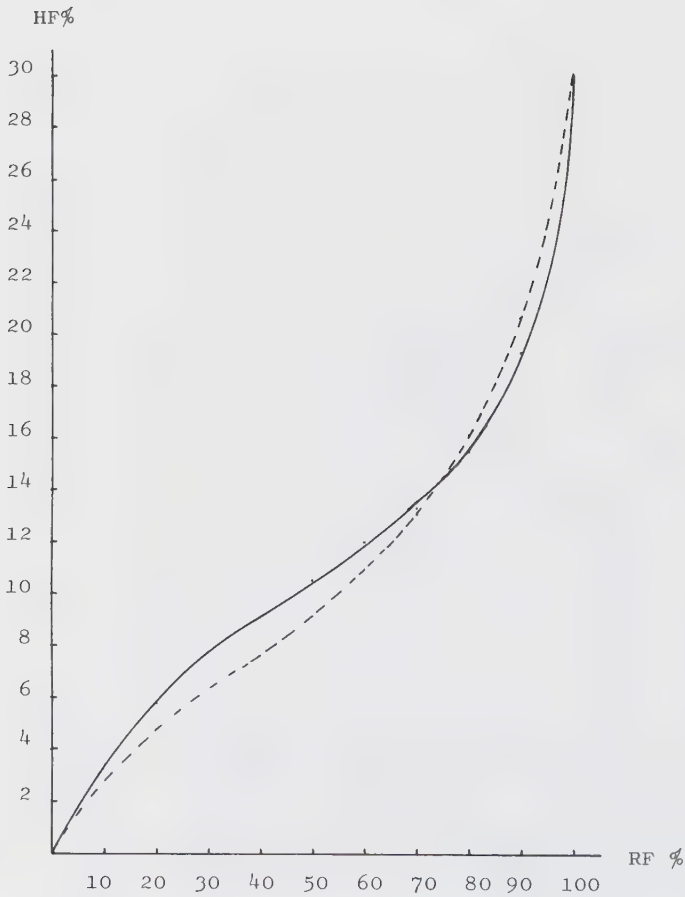


Abb. 6: Beziehung zwischen rF und Holzfeuchtigkeit für Fichtenholz bei 20 °C aus den Mittelwerten einer Tabelle von Vorreiter (—) und aus dem Diagramm nach Loughborough (---), Vorreiter (43).

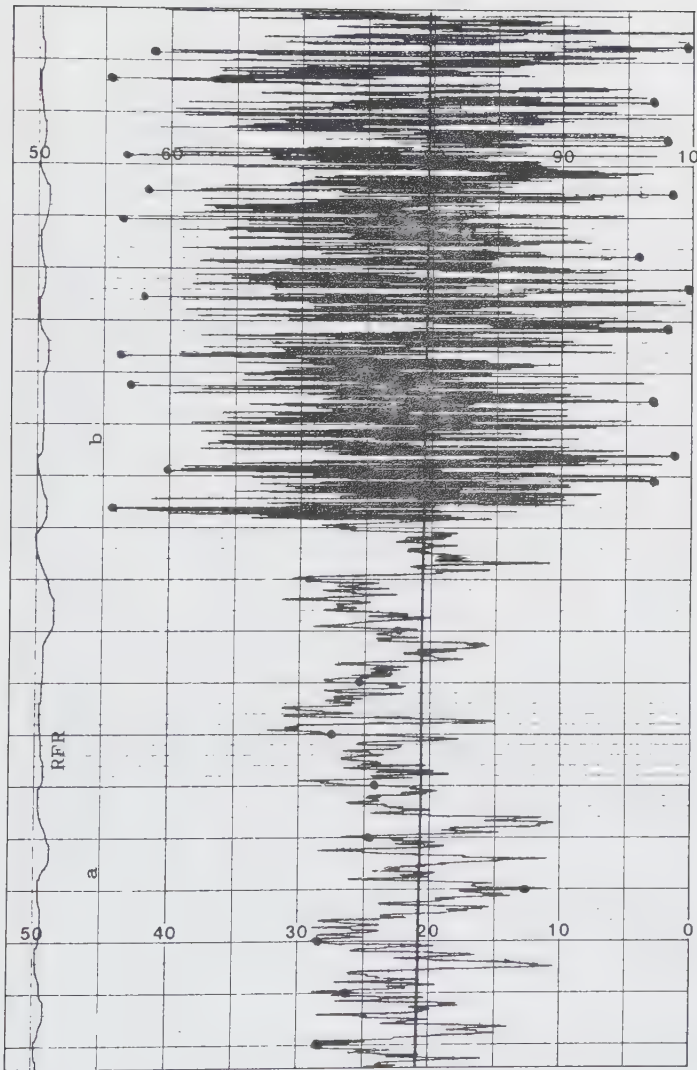


Abb. 7: Aufzeichnungen von unlinearisierten Messsignalen des Hitzdrahtanemometers mit gedämpfter (a) und ungedämpfter Anzeige (b) bei der Messung von turbulenten Luftströmungen über dem Käfig mit dem Mehrkanalschreiber (LBM = 13 cm/s, LB MAX = 25 cm/s, LB MIN = 3 cm/s, Papiervorschub: 1 cm/s).

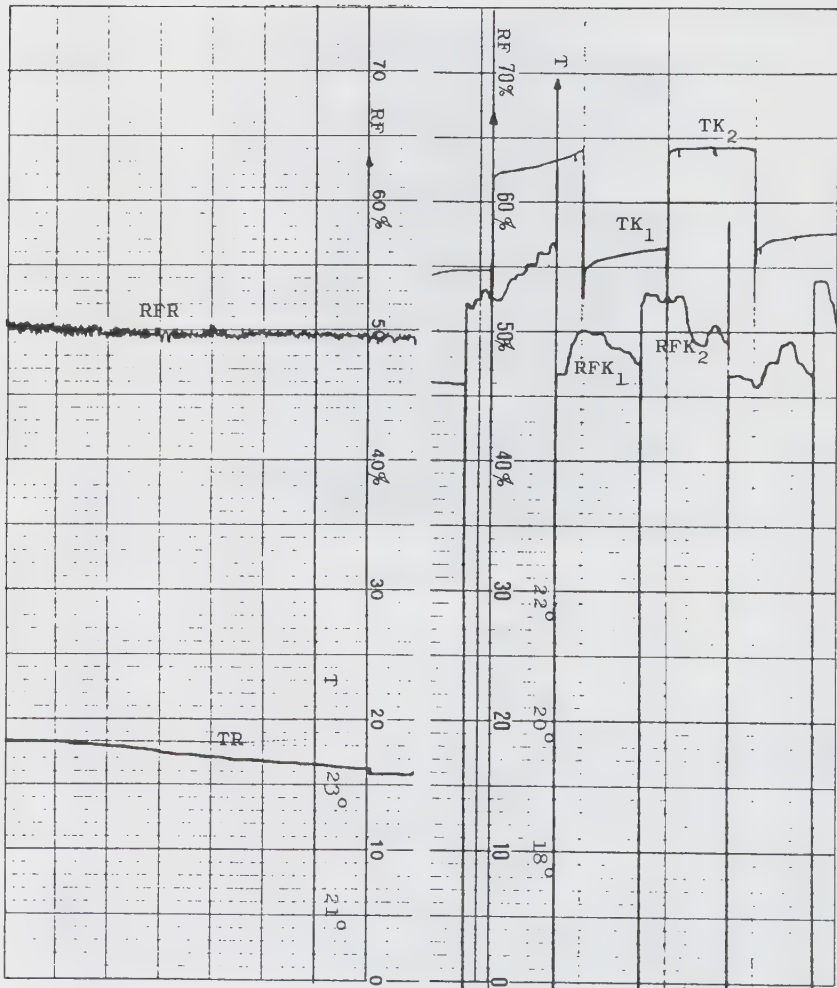


Abb. 8: Registrierung von Temperatur und rF im Tierraum (TR, RFR) und im Käfig (TK₁, TK₂ bzw. RFK₁, RFK₂) mit den Mehrkanalschreibern. Papiervorschub: links 1 cm/s, rechts 20 cm/s.

4. ERGEBNISSE

4.1. Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Käfig über der Einstreu (Experiment 1)

In Experiment 1 wurden die Temperatur- und rF - Unterschiede zwischen Tierraum und Käfig über der Einstreu in Abhängigkeit der Besatzdichte des Käfigs, der Gestellart und der Käfiganordnung untersucht. Im Tierraum blieben Temperatur und rF, wie die Mittelwerte von TR und RFR in Tab. 2 zeigen, hinreichend konstant. Der Gesamtmittelwert der Temperatur bzw. der rF beim Referenzmesspunkt im Tierraum betrug $23,5 \pm 0,3$ °C bzw. 50 ± 1 % rF.

Die Temperaturen beim Referenzmesspunkt im Käfig stiegen in der Ruhephase bei Messkäfigen, die in besetzten Regalgestellen untergebracht waren, mit fünf Ratten auf $26,4$ °C und mit zehn Ratten auf $28,2$ °C. In der Aktivphase stiegen sie nochmals durchschnittlich um $0,8$ °C an. Wurden jedoch die gleichen Messkäfige allein in leeren Fahrgestellen untergebracht, so konnten in der Ruhephase der Tiere, auch bei zehn Ratten pro Käfig, keine signifikanten Temperaturunterschiede gemessen werden. In der Aktivphase erhöhte sich jedoch im Messkäfig mit zehn Ratten die Temperatur signifikant um $1,6$ °C. Die Temperaturunterschiede (TD) schwankten, je nach Kombination von Besatzdichte, Käfiganordnung und Gestellart, von $0 - 5,5$ °C zwischen Tierraum und Käfig über der Einstreu (Tab. 2, Abb. 11). In den Tab. 2 und 3, sowie in den Abb. 9, 10, 11 und 12 werden die einzelnen Kombinationen symbolisch mit den Anfangsbuchstaben derjenigen Faktoren bezeichnet, die in der oberen Stufe vorkommen. Für die Besatzdichte zehn Ratten pro Käfig steht B, für die Käfiganordnung volles Gestell A und Gestellart Regalgestell G. Die Kombination, bei der alle drei untersuchten Faktoren in der unteren Stufe vorkommen, trägt das Symbol (1). Im Kopf der Tabelle 2 sind die Kombinationen explizit mit Angabe der Symbole aufgeführt. Die mittleren Effekte von Gestell, Besatzdichte und Käfiganordnung auf den Temperaturunterschied zwischen Käfig und Raum, können bei der vorliegenden Versuchsanordnung einfach aus den

Differenzen bestimmter Kombinationen geschätzt werden. Die Gestellart, d.h. Blechtablare oder Konsolen wirkte sich, trotz des Wandabstands, mit $0,7^{\circ}\text{C}$ am wenigsten auf den Temperaturunterschied aus. Die Besatzdichte - bei unserer Versuchsanordnung die Verdoppelung der Anzahl Ratten pro Käfig - bewirkte einen mittleren Temperaturanstieg von $1,2 - 1,5^{\circ}\text{C}$. Die Käfiganordnung, d.h. die Anordnung des Messkäfigs in einem vollen oder leeren Gestell, wirkte sich mit 3°C am stärksten auf den Temperaturunterschied aus. Wie Tab. 3 zeigt, verhalten sich die Effekte Gestellart, Besatzdichte und Käfiganordnung zueinander wie 1 : 2 : 4.

Die rF über der Einstreu wich, wie aus Tab. 2 zu entnehmen ist, bei allen Faktorkombinationen nicht mehr als $\pm 6\%$ vom Wert im Tierraum ab. Die Messwerte variierten bei allen Messungen zwischen 1 und 3 % rF. In den Abb. 9 und 10 wurde versucht, die Unterschiede der einzelnen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereiche der Kombinationen untereinander und zum Raum darzustellen. In fünf von acht Kombinationen herrschte im Käfig eine kleinere rF als im Raum (Abb. 9 und 10).

Um die Werte von RFR mit RFK unter Berücksichtigung der Temperatur besser vergleichen zu können, wurden die RFK-Werte anhand eines Psychrometer-Diagramms (Luftdruck: 733 mm Hg) auf TR korrigiert. Die korrigierten RFK-Werte wurden in Tab. 2 unter RFKK aufgeführt. Aus den RFKK-Werten wird ersichtlich, dass, absolut gesehen, in den Käfigen gleiche oder höhere Luftfeuchtigkeiten als im Raum herrschten. Die aus RFKK und RFR gebildeten Luftfeuchtigkeitsunterschiede (RFDK) schwankten in der Ruhephase von 0 - 8 % und in der Aktivphase von 0 - 17 % rF. Die Luftfeuchtigkeit stieg demnach während der Aktivphase deutlich an.

Die Effekte von Gestellart, Besatzdichte und Käfiganordnung auf die Luftfeuchtigkeitsunterschiede konnten, gleich wie bei der Temperatur, aus den Differenzen bestimmter Kombinationen geschätzt werden. Wie aus Tab. 3 ersichtlich ist, besteht zwischen den Effekten von Gestellart, Besatzdichte und Käfiganordnung kein deutlicher Unterschied. Jeder Faktor erhöhte die korrigierte rF im Käfig (RFDK) signifikant um 2.- 4 % in der Ruhephase und um 5 - 7 % in der Aktivphase. Die Luftbewegungen über den

Käfigen schwankten bei allen Kombinationen, mit Ausnahme der ersten beiden, von 0 - 5 cm/s. In den ersten beiden Kombinationen, wo der Käfig allein im Fahrgestell untergebracht war, betrug sie 8 - 11 cm/s (Tab. 2, LBM).

4.2. Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Einstreu des Käfigs (Experiment 2)

In Experiment 2 wurden die Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede in Abhängigkeit der Nutzzeit der Einstreu, der Besatzdichte des Käfigs, der RFR und der Käfiganordnung untersucht. Die mittlere Raumtemperatur (TR) lag während diesen Untersuchungen bei $24,8 \pm 0,3$ °C (Tab. 4 - 6). Die drei verschiedenen rF des Tierraumes (RFR = 30, 50 und 70 %), konnten im Schwankungsbereich von ± 2 % konstant gehalten werden. Die Temperaturen in der Einstreu (TE) schwankten bei Käfigen im Regalgestell (Käfiganordnung 1, LBM : 0 - 5 cm/s) zwischen der Temperatur über der Einstreu und der Temperatur an der Körperoberfläche der Tiere im Käfig. Die Messungen ergaben in Käfigen mit fünf Ratten einen Mittelwert für TE ($\overline{TE}$) von 28 °C (TE min : 26,3 und TE max : 31,0 °C) und in Käfigen mit zehn Ratten ein $\overline{TE}$ 29,1 °C (TE min : 26,5 und TE max : 31,4 °C). Bei Käfigen, die allein zuoberst auf einem Fahrgestell standen und einer erhöhten Luftbewegung ausgesetzt waren (Käfiganordnung 2, LBM : 10 - 25 cm/s) betrug $\overline{TE}$ in Käfigen mit fünf Ratten 25,7 °C (TE min : 22,8 und TE max : 30,3 °C) und in Käfigen mit zehn Ratten 26,6 °C (TE min : 23,0 und TE max : 31,0 °C).

Die mittlere rF in der Einstreu (RFE aus der Gesamtbestimmung) war bei allen Kombinationen grösser als die RFR (Abb. 13 - 15). Der Unterschied von rF zwischen Tierraum und Einstreu schwankte zwischen 9 und 51 %, je nach Besatzdichte, RFR und Käfiganordnung (Tab. 9). Die Standardabweichungen bei den Gesamtbestimmungen lagen zwischen 2 % und 5 % (Tab. 4). Der Vergleich der Ergebnisse der 1. und 2. Messserie, ergab keine signifikanten Unterschiede. Die Messergebnisse waren reproduzierbar (Tab. 6).

Die Einstreu war nicht an jedem Ort im Käfig gleich feucht. Die RFE-Werte der Einzelproben aus dem vorderen, mittleren und hinteren Einstreubereich weisen Unterschiede bis zu 40 % auf (Abb. 13 - 15, b). Im hinteren Käfigdrittel ist die Einstreu im allgemeinen feuchter als im vorderen. Die drei Bereiche lassen sich aber nicht klar nach dem Feuchtegrad trennen. In einzelnen Käfigen war RFE im vorderen und mittleren Drittel kleiner als RFR (Abb. 15). Der Mittelwert der RFE aus den drei Einzelproben stimmt relativ gut mit dem RFE-Wert aus der Gesamtbestimmung überein (Tab. 4). Die Mittelwerte der Maximalwerte aus den drei Einzelbestimmungen liegen 2 - 10 % über den Mittelwerten der Gesamtbestimmungen (Abb. 16).

Der Effekt der Nutzzeit der Einstreu, der Besatzdichte des Käfigs, der Raumfeuchtigkeit und der Käfiganordnung auf RFE, liess sich auch bei diesem Experiment aus den Differenzen bestimmter Kombinationen schätzen.

Die Nutzzeit der Einstreu ist die Zeit, während der die Tiere im Käfig auf der Einstreu gehalten werden. Es wurde darauf geachtet, dass die RFE zu Beginn der Nutzung mit der RFR übereinstimmte, bei der die Messungen durchgeführt wurden. Im Laufe des ersten Nutztages stieg die RFE steil bis zu einem bestimmten Niveau an und erhöhte sich in den folgenden Tagen nicht oder nur geringfügig (Abb. 18). Bei der Käfiganordnung 1 bzw. 2 stieg RFE am 1. Tag in Käfigen mit fünf Ratten 9 - 26 % bzw. 20 - 38 % und in Käfigen mit zehn Ratten 19 - 43 % bzw. 26 - 46 % über RFR an. Während sich die RFE vom 2. - 7. Nutztage im Maximum 6 % erhöhte (Tab. 9). Der Verlauf der RFE in Abhängigkeit der Nutzzeit wird durch Abb. 18 verdeutlicht. Ein stetiger Anstieg der RFE war nur bei Käfigen zu beobachten, die schon nach dem ersten Nutztage RFE-Werte um 90 % aufwiesen.

Die Aenderung der Besatzdichte von fünf auf zehn Ratten pro Käfig wirkte sich deutlich auf RFE aus. Sie stieg, wenn die Tierzahl pro Käfig verdoppelt wurde, bei der Käfiganordnung 1 bzw. 2 um 10 - 20 % bzw. 5 - 15 % an.

Die Aenderung der Besatzdichte wirkte sich bei 30 % RFR stärker aus als bei 70 % (Tab. 7). In Abb. 17, wo der Effekt der Besatzdichte in Abhängigkeit der Nutzzeit bei der Käfiganordnung 1 dargestellt wird, kommt dies deutlich zum Ausdruck.

Wurde die RFR um 20 % erhöht, so stieg RFE im Käfig um 5 - 16 % an. Die RFE nimmt also nicht im gleichen Mass zu, wie die RFR. In Abb. 18 und Tab. 8 wird das Verhalten von RFE bei den verschiedenen Stufen von RFR dargestellt. Zwischen der Käfiganordnung 1 und 2 zeigte sich, in Bezug auf den Effekt von RFR, kein deutlicher Unterschied.

Wurde ein Käfig aus dem Regalgestell allein auf ein Fahrgestell gesetzt, so stieg die RFE, trotz der fünfmal höheren Luftbewegung über dem Käfig, deutlich an, und zwar in Käfigen mit fünf Ratten um 9 - 14 % und in Käfigen mit zehn Ratten um 1 - 9 %. Wie sich die beiden extremen Käfiganordnungen im einzelnen auf RFE auswirkten, wurde in Tab. 9 und Abb. 19 dargestellt.

4.3. Ergänzende Untersuchungen

Der Trinkwasserverbrauch bei den Untersuchungen der RFE konnte nur mit den stumpfen Tränkedeckeln so konstant gehalten werden, dass kein signifikanter Einfluss auf RFE in den einzelnen Kombinationen nachzuweisen war (Tab. 4 und 5). Bei der Verwendung von Tränkedeckel mit Kanülen, nahmen Mittelwert und Streuung des Trinkwasserverbrauchs zu, besonders bei Käfigen mit zehn Ratten (Tab. 10). Der höhere Trinkwasserverbrauch wirkte sich deutlich auf RFE aus. In Käfigen mit zehn Ratten erreichte die RFE bereits nach drei Tagen 100 %, während in Käfigen mit stumpfem Tränkedeckel, die RFE in der gleichen Zeit auf 91 % anstieg (Tab. 10).

Die NH_3 - Konzentrationsmessungen wurden nur vereinzelt durchgeführt, und zwar nur bei Kombinationen, bei denen eine hohe RFE zu erwarten war. Trotz massiver Besetzung der Käfige (zehn Ratten pro Käfig) und einer RFR von 70 % - allerdings mit Verwendung von stumpfen Tränkedeckel - traten erst nach drei Tagen deutlich messbare Ammoniakkonzentrationen ($> 5\text{ppm}$) auf. Die RFE war zu diesem Zeitpunkt über 90 % angestiegen. Am fünften Tag konnten vereinzelt Ammoniakkonzentrationen von 120 ppm gemessen werden. Am siebten Tag, als die RFE in den meisten Käfigen über

95 % angestiegen war, betrug die mittlere NH_3 - Konzentration etwa 50 ppm (Abb. 20, Tab. 4). Wurde anstelle des stumpfen Tränkedeckels einer mit Kanüle verwendet, so erreichte die Ammoniakkonzentration in solchen Käfigen bereits nach drei Tagen einen mittleren Wert von 100 ppm (Tab. 10). Die gleichzeitigen NH_3 - Bestimmungen am Referenzmesspunkt im Tierraum, ergaben Werte zwischen 0 und 5 ppm.

Die CO_2 - Konzentrationsmessungen der Käfigluft wurden ebenfalls nur vereinzelt durchgeführt, und zwar um die scheinbar ungünstigen Belüftungsverhältnisse bei der Käfiganordnung 1 zu untersuchen. Die Messwerte lagen in Käfigen mit fünf Ratten um 0,1 Vol. % und mit zehn Ratten um 0,15 Vol. % (Tab. 4). In einem Käfig konnte ein maximaler Wert von 0,23 Vol. % gemessen werden. Die gleichzeitigen Messwerte im Raum schwankten zwischen 0,04 und 0,06 Vol. %.

4.4. Abbildungen und Tabellen

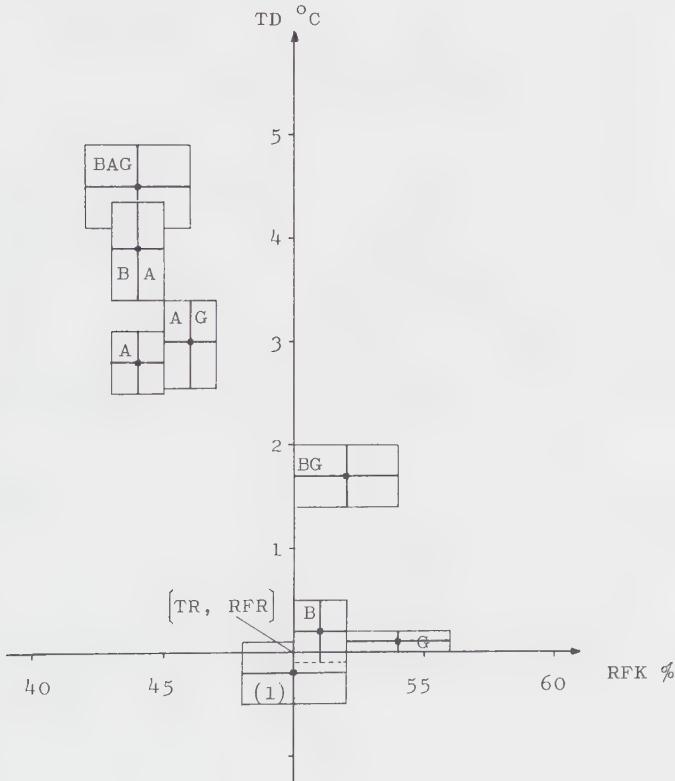


Abb. 9: Darstellung der Temperatur- und rF-Unterschiede der 8 Kombinationen von Experiment 1 gegenüber dem Raum durch Mittelwert und Standardabweichung von TD und RFK in der Ruhephase. Raumbedingungen durch den Schnittpunkt des Koordinatensystems dargestellt (TD=0 °C, RFK=50 %).

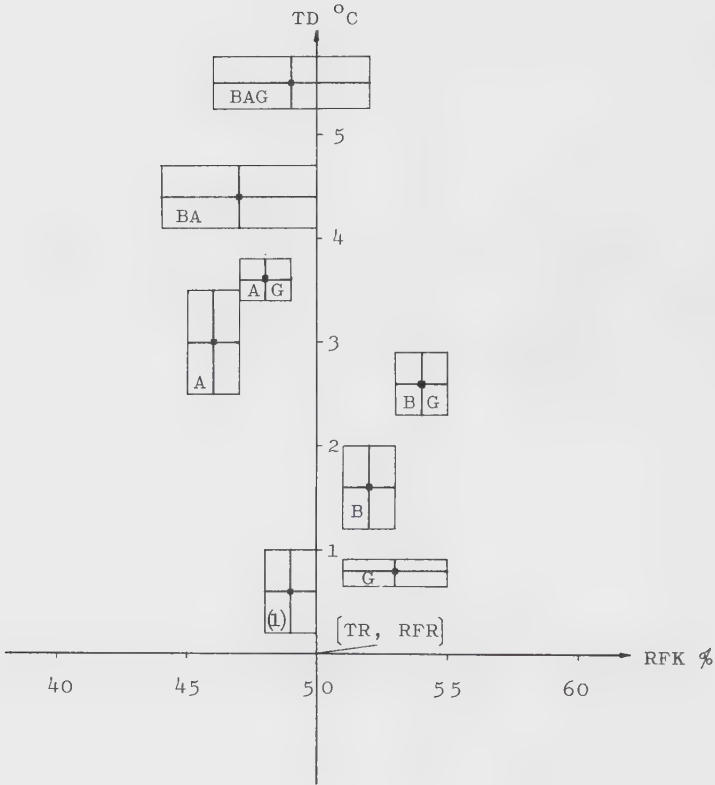


Abb. 10: Darstellung der Temperatur- und rF-Unterschiede der 8 Kombinationen von Experiment 1 gegenüber dem Raum durch Mittelwert und Standardabweichung von TD und RFK in der Aktivphase. Raumbedingungen durch den Schnittpunkt des Koordinatensystems dargestellt (TD=0 °C, RFK=50 %).

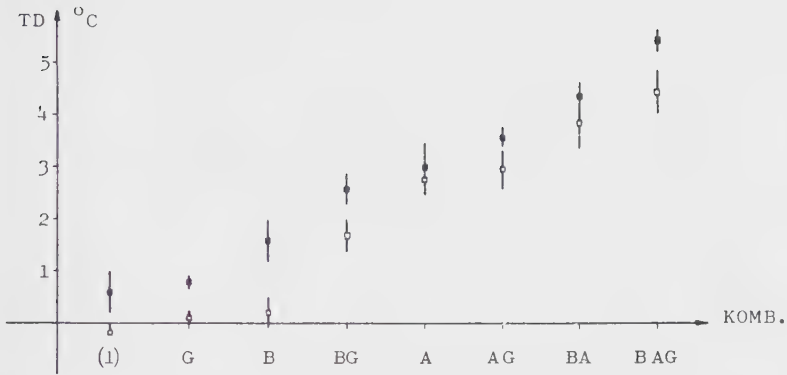


Abb. 11: Mittelwert und Standardabweichung von TD in der Ruhephase (○) und Aktivphase (●) der Ratten in den verschiedenen Kombinationen.

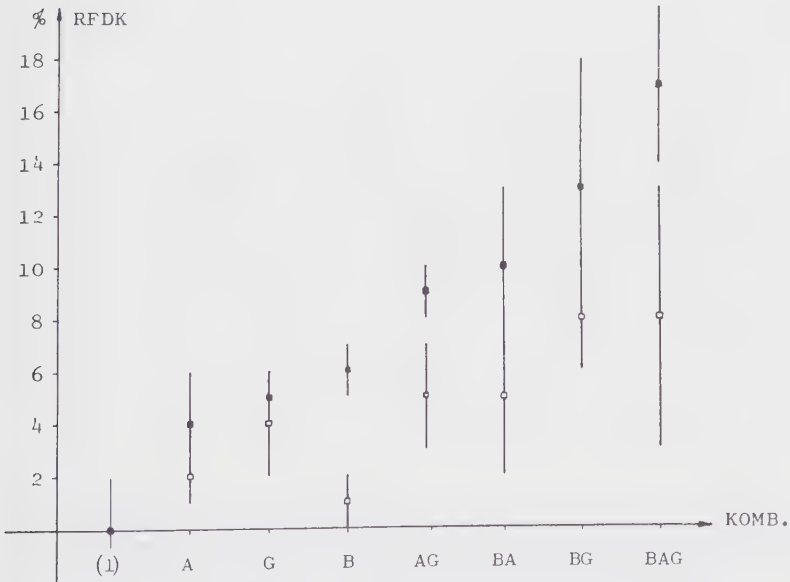


Abb. 12: Mittelwert und Standardabweichung von RFDK in der Ruhephase (○) und Aktivphase (●) der Ratten in den verschiedenen Kombinationen.

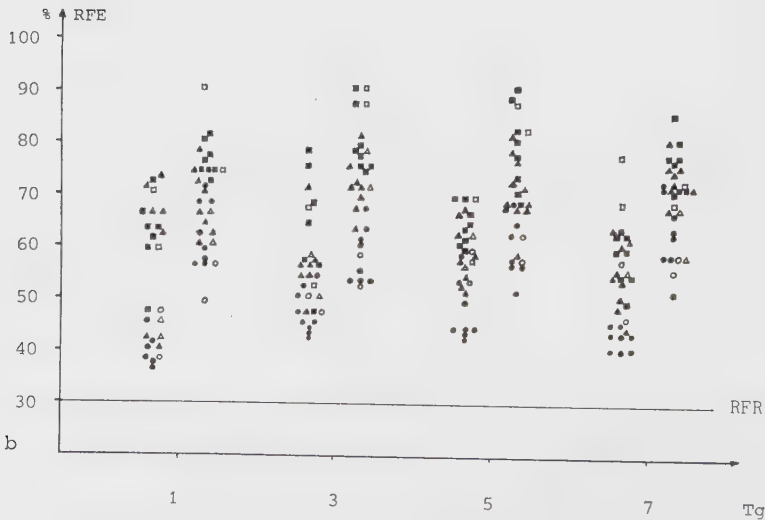
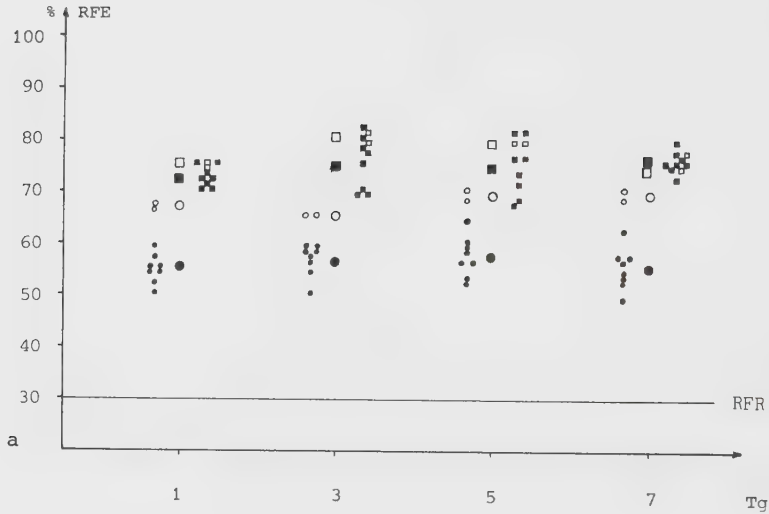


Abb. 13: RFE-Werte in besetzten Makrolonkäfigen bei 30 % RFR und 24.8 °C nach 1, 3, 5 und 7 Tagen.

- a Einzel- und Mittelwerte der Gesamtbestimmungen von Käfigen mit 5 (●) und 10 (■) Ratten bei der Käfiganordnung 1 (●, ■) u. 2 (○, □).
 b. Einzelwerte der Einstreuproben aus dem vorderen (●), mittleren (▲) und hinteren (■) Käfigsektor.

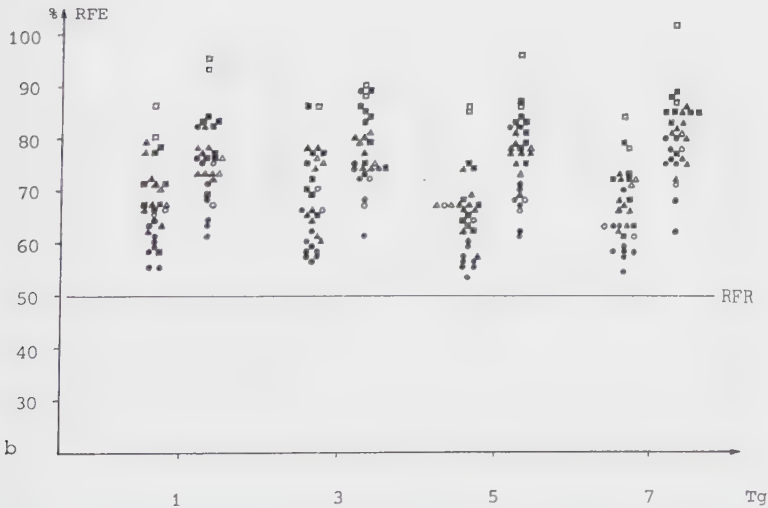
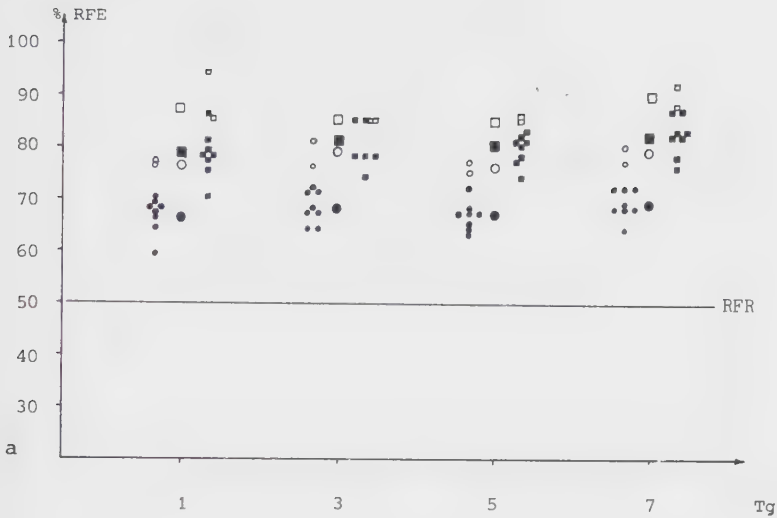


Abb. 14: RFE-Werte in besetzten Makrolonkäfigen bei 50 % RFR und 24.8 °C TR nach 1, 3, 5 und 7 Tagen.

- a Einzel und Mittelwerte der Gesamtbestimmungen von Käfigen mit 5 (•) und 10 (▪) Ratten bei der Käfiganordnung 1 (•, ▪) u. 2 (◦, ◻).
 b Einzelwerte der Einstreuprobe aus dem vorderen (•), mittleren (▲) und hinteren (◻) Käfigsektor.

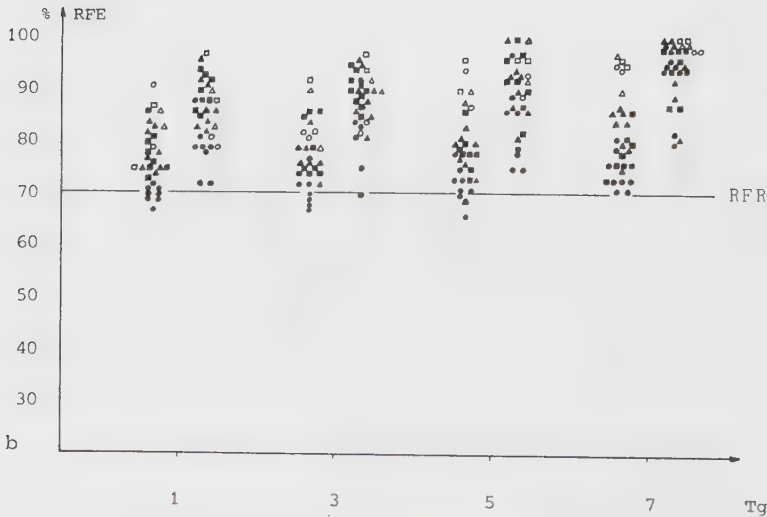
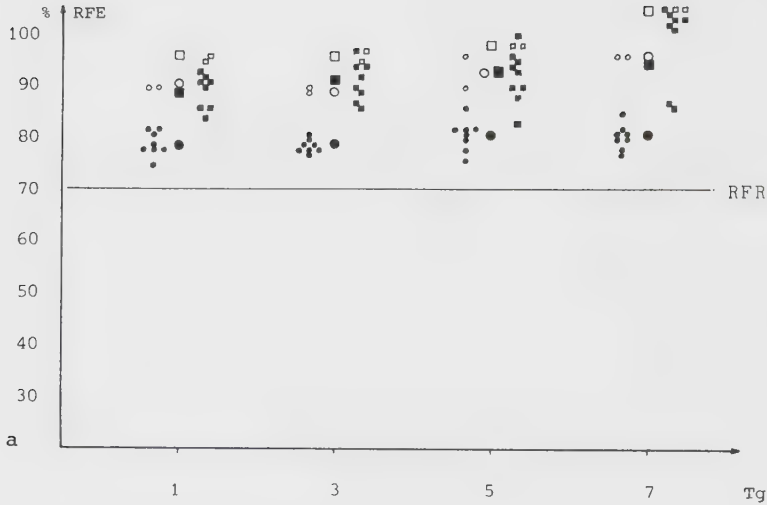


Abb. 15: RFE-Werte in besetzten Makrolonkäfigen bei 70 % RFR und 24.8 °C TR nach 1, 3, 5 und 7 Tagen.

- a Einzel- und Mittelwerte der Gesamtbestimmungen von Käfigen mit 5 (●) und 10 (○) Ratten bei der Käfiganordnung 1 (●, ●) u. 2 (○, ○).
- b Einzelwerte der Einstreuproben aus dem vorderen (●), mittleren (▲) und hinteren (△) Käfigsektor.

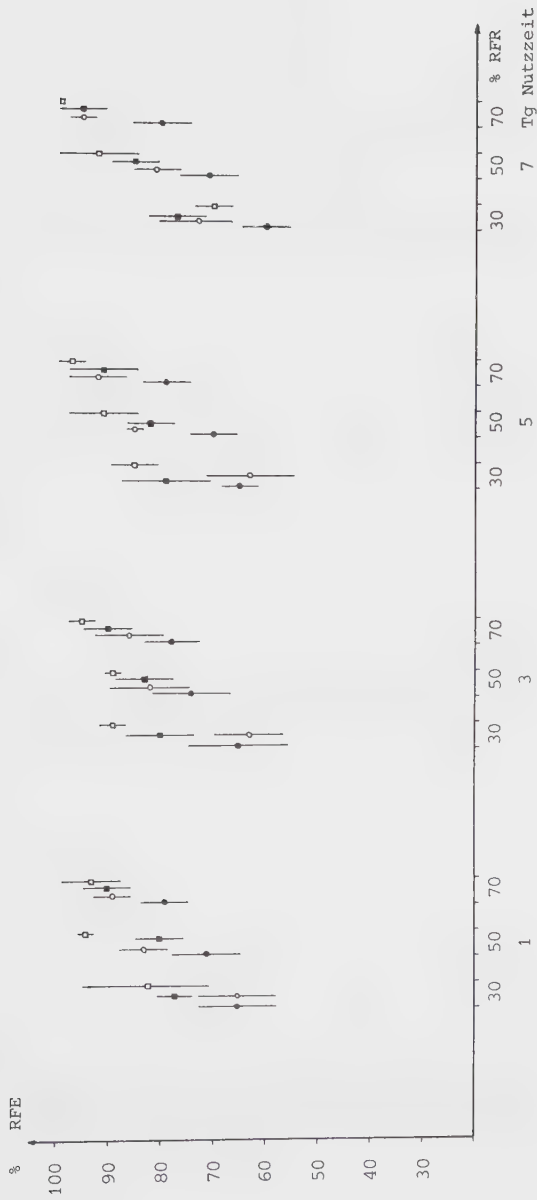


Abb. 16: Maximale RFE-Werte ($\bar{x}$, s) der Einstreuproben aus den drei Käfigsektoren bei 30, 50 und 70 % RFR nach 1, 3, 5 und 7 Tagen (Symbolik wie bei Abb. 13 a).

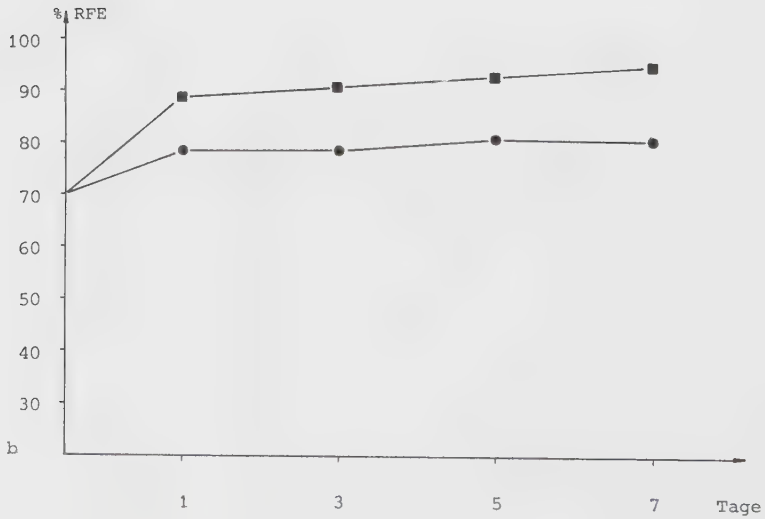
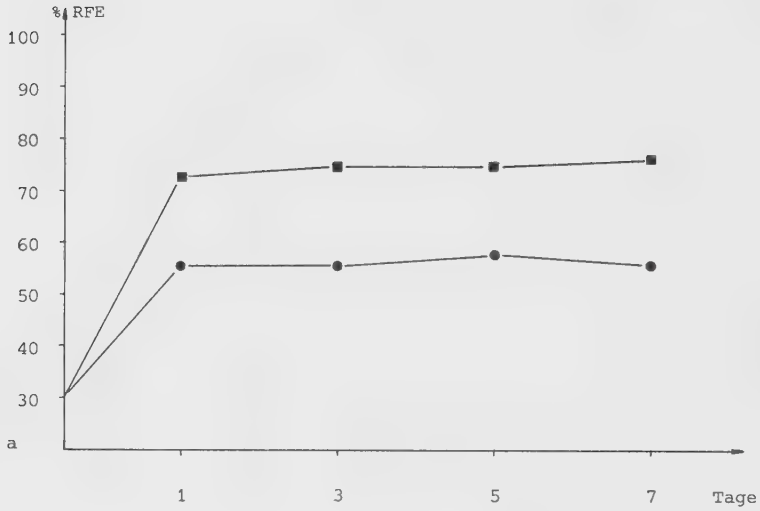


Abb. 17: Effekt der Besatzdichte auf RFE bei der Käfiganordnung 1
 a Mittelwerte von RFE in Käfigen mit 5 (●) und 10 (■) Ratten bei 30 % RFR und b bei 70 % RFR (TR: 24.8 °C).

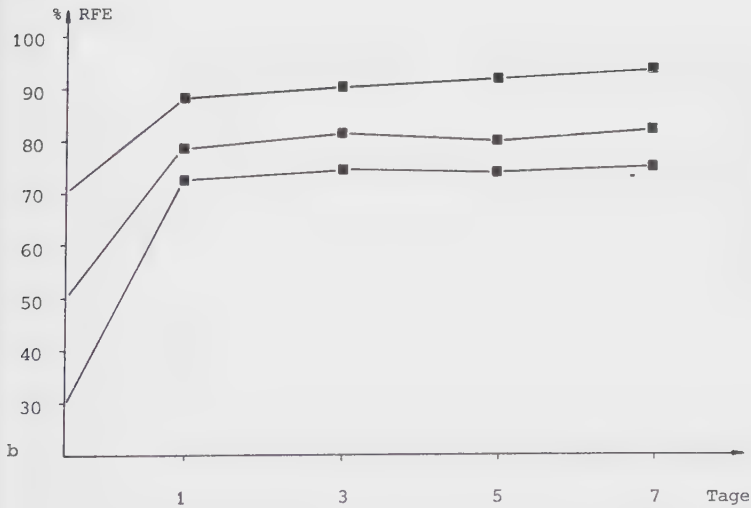
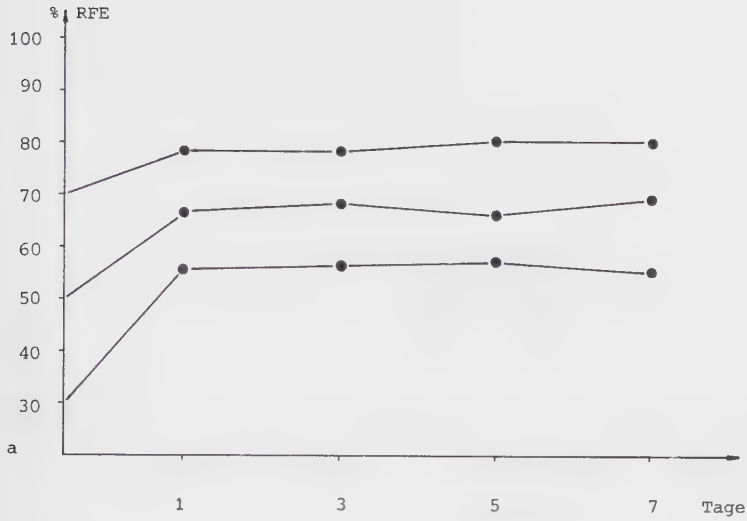


Abb. 18: Effekt der Nutzzeit und RFR auf RFE bei der Käfiganordnung 1 nach 1, 3, 5 und 7 Tagen. a Mittelwerte von RFE in Käfigen mit 5 und b mit 10 Ratten bei 30, 50 und 70 % RFR.

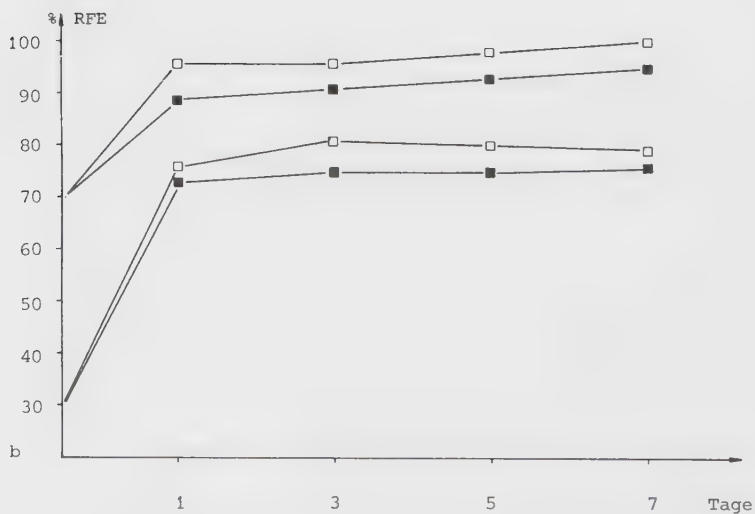
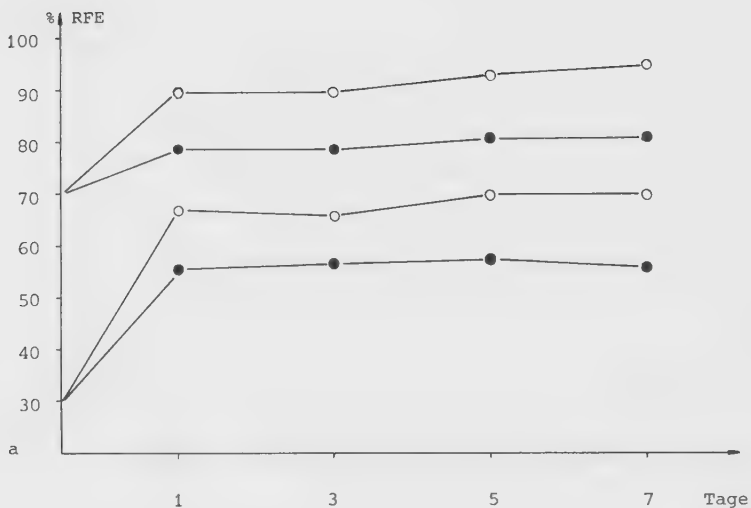


Abb. 19: Effekt der Käfiganordnung bzw. der Luftbewegung über den Käfigen auf RFE nach 1, 3, 5 und 7 Tagen bei 30 und 70 % RFR.
 a Mittelwert von RFE in Käfigen mit 5 (●, ○) und b mit 10 (■, □) Ratten bei der Käfiganordnung 1 und 2.

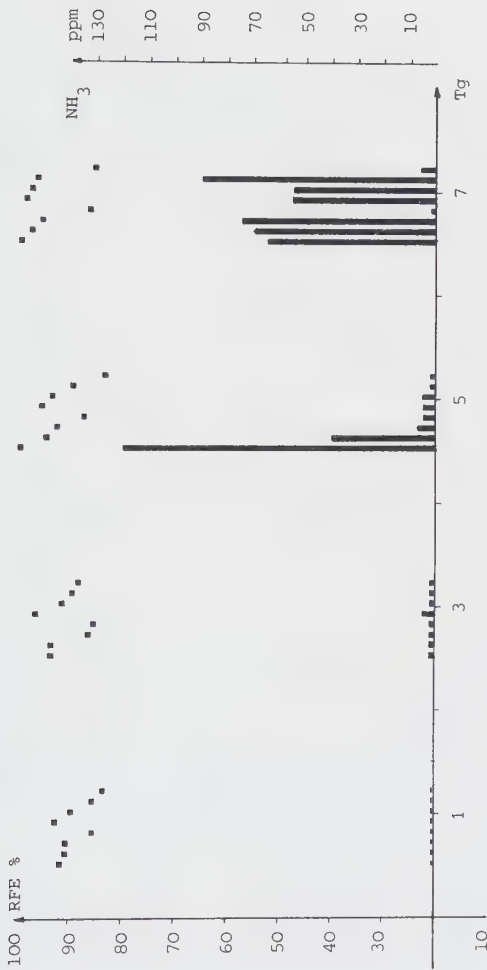


Abb. 20: Beziehung zwischen RFE (■) und Ammoniakkonzentration (■) in der Luft von Käfigen mit 10 Ratten bei 70 % RFR und 24.8 °C nach 1, 3, 5 und 7 Tagen (Käfiganordnung 1).

Kombination	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Gestellart	GF	GF	GF	GR	GF	GR	GR	GR	GF	GF	GF	GR	GF	GR	GR	GR
Käfiganordnung	AL	AL	AV	AL	AV	AL	AV	AV	AL	AL	AV	AL	AL	AV	AL	AV
Besatzdichte	5	10	5	5	10	10	5	10	5	10	5	5	10	10	5	10
Symbol	(1)	B	A	G	BA	BG	AG	BAG	(1)	B	A	G	BA	BG	AG	BAG
TR	°C	23.7	23.5	23.3	23.6	23.3	23.5	23.7	23.5	23.2	23.0	23.4	23.0	23.2	23.2	23.6
		0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.5	0.4	0.1	0.3
TK	°C	23.5	23.6	26.1	23.7	27.4	25.0	26.4	28.2	A						
		0.5	0.3	0.4	0.4	0.9	0.3	0.3	0.1	K						
TD	°C	-0.2	0.2	2.8	0.1	3.9	1.7	3.0	4.5	T						
		0.3	0.3	0.3	0.1	0.5	0.3	0.4	0.4	I						
P	%	50	50	50	50	50	50	50	50	V						
H		1	1	1	1	1	1	1	1	P						
A										H						
S	%	50	50	44	54	44	52	46	44	A						
		2	1	1	2	1	2	1	2	S						
E										E						
RFXK	%	50	50	52	54	55	58	55	58							
		2	1	1	2	3	2	1	4							
RFDK	%	0	1	2	4	5	8	5	8							
		2	1	1	2	3	2	2	5							
LBM	cm/s	8	11	4	5	4	5	3	3							
		6	5	2	3	2	1	3	3							
LB MIN	cm/s	3	3	1	1	0	0	1	1							
		4	2	1	1	1	1	1	1							
LB MAX	cm/s	14	21	9	10	7	9	6	5							
		9	11	4	4	4	3	1	2							

Tab. 2: Statistische Masszahlen ($\bar{x}$, s) der Messwerte von Experiment 1 in der Ruhe- und Aktivphase der Ratten.

Kombi- nation	TD - Effekt (°C) von				RFDK - Effekt (% rF) von			
	Gestell		Besatz- dichte		Käfig- anordnung		Besatz- dichte	
	RP	AP	RP	AP	RP	AP	RP	AP
(1)								
B			0.4	1.0			1	6
A					3.0	3.0		
G	0.3	0.2					4	5
BA			1.1	1.4	3.7	2.8		
BG	1.5	1.0	1.6	1.8			7	7
AG	0.2	0.6			2.9	2.8	3	4
BAG	0.6	1.1	1.5	1.9	2.8	2.9	3	7
Σ	2.6	2.9	4.6	6.1	12.4	11.5	17	23
$\bar{x}$	0.7	0.7	1.2	1.5	3.1	2.9	4	6
s	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.1	2	2
							1	1
							1	1

Tab. 3: Effekt von Gestell, Besatzdichte und Käfiganordnung auf TD und RFDK. Einzelwerte wurden aus den Differenzen bestimmter Kombinationen (z.B. AG - A = G) in der Ruhephase (RP) und in der Aktivphase (AP) berechnet.

Kombination		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Besatzdichte		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5
Nutzzeit	Tg	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
RFR	%	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	50	50
Mittlere RFE	%	56	57	58	56	73	75	75	76	67	69	67	70
s		3	3	4	4	2	4	5	2	3	3	3	3
RFE	%	45	47	48	43	63	59	61	64	60	60	57	60
vord. Sektor		3	3	6	2	6	5	6	7	3	3	2	3
RFE	%	61	57	59	54	69	72	72	74	71	69	69	68
mittl. Sektor		12	7	6	6	6	5	7	4	6	7	6	4
RFE	%	62	63	65	59	77	80	80	77	70	73	68	71
hint. Sektor		6	11	4	5	3	6	8	5	6	8	5	6
Ø RFE	%	56	56	57	52	70	70	71	72	67	67	65	66
Sektoren		6	4	3	2	3	3	6	3	5	4	3	3
TR	°C	25.0	24.9	24.9	24.3	25.0	24.9	24.9	24.3	24.9	24.9	24.9	24.7
		0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4	0.2
Körpergewicht													
pro Ratte	g	351	351	351	350	347	345	347	347	338	345	337	338
		4	4	4	3	7	6	7	7	15	22	14	15
pro Käfig	g	1755	1755	1755	1750	3466	3454	3466	3461	1693	1724	1684	1692
		18	19	19	16	70	61	70	65	75	110	68	75
Trinkwasser- verbrauch													
pro Ratte	ml	19.3	19.9	20.7	21.0	22.6	22.4	22.5	23.2	18.5	19.2	19.6	19.5
		1.8	0.9	0.9	1.5	1.3	1.5	1.4	1.0	1.4	1.4	0.8	1.2
pro Käfig	ml	96	99	103	105	226	224	225	232	93	96	98	98
		9	5	5	8	13	16	14	10	7	7	4	6
NH ₃ -Konzentration	ppm	<5											
CO ₂ -Konzentration	%	0.11 0.11				0.19 0.14							
		- 0.02				0.06 0.03							

Tab. 4: Statistische Masszahlen ($\bar{x}$, s) der Messwerte aus der 1. und 2. Messserie von Experiment 2 bei der Käfiganordnung 1. Anstelle der Standardabweichung bei den Angaben der NH₃-Konzentration in der Käfigluft wird der Maximalwert angegeben.

Kombination		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Besatzdichte		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5
Nutzzeit	Tg	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
RFR	%	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	50	50
Mittlere RFE	%	67	66	69	69	76	82	80	78	78	77	76	81
		68	66	71	71	75	79	80	75	77	82	78	78
RFE	%	59	48	54	47	50	53	63	59	66	67	65	64
vord. Sektor		48	51	60	58	57	59	58	56	67	71	68	62
RFE	%	51	59	57	62	61	79	72	68	68	76	68	73
mittl. Sektor		49	51	63	56	67	72	69	59	71	77	68	72
RFE	%	60	53	58	78	75	88	83	73	87	78	87	85
hint. Sektor		71	68	70	69	91	91	88	69	81	87	86	79
Ø RFE	%	55	53	56	62	62	73	73	67	74	74	73	74
Sektoren		56	57	64	61	74	74	72	61	73	78	74	71
TR	°C	25.1	24.9	25.0	24.6	25.1	24.8	25.0	24.6	24.7	25.2	25.2	24.5
		24.8	24.8	24.7	24.0	24.8	24.9	24.7	24.0	25.1	24.5	24.2	24.9
Körpergewicht													
pro Ratte	g	352	358	353	348	355	358	355	349	325	356	355	348
		348	348	348	344	349	349	349	342	348	325	325	325
pro Käfig	g	1760	1790	1765	1740	3550	3580	3550	3490	1625	1780	1775	1740
		1740	1740	1740	1720	3490	3490	3490	3420	1740	1625	1625	1625
Trinkwasser-													
verbrauch													
pro Ratte	ml	19.4	19.2	20.2	22.2	20.0	19.6	20.7	21.3	19.4	19.2	19.0	20.4
		20.0	19.8	21.4	20.8	19.7	19.6	20.3	19.0	19.6	21.1	20.6	19.8
pro Käfig	ml	97	96	101	111	200	196	207	213	97	96	95	102
		100	99	107	104	197	196	203	190	98	105	103	99

Tab. 5: Die beiden Einzelwerte der 1. und 2. Messserie von Experiment 2 bei der Käfiganordnung 2.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	10	10	10	5	5	5	5	10	10	10	10
1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
50	50	50	50	70	70	70	70	70	70	70	70
90	86	86	93	90	89	96	96	95	95	98	100
86	86	87	89	90	90	90	96	96	97	98	100
76	73	69	79	79	82	94	94	81	84	93	98
68	68	67	72	91	81	87	95	79	82	89	98
75	82	79	82	83	79	90	90	83	90	100	99
77	76	74	73	86	90	88	97	90	92	92	99
96	89	87	98	87	82	96	95	97	94	96	100
94	91	97	88	75	92	89	96	88	97	96	100
82	81	78	86	83	81	93	93	87	89	96	99
80	78	79	78	84	88	88	96	86	90	92	99
24.7	25.2	25.2	24.5	24.7	25.0	24.8	24.8	24.7	25.0	24.8	24.8
25.1	24.5	24.5	24.9	24.5	24.8	25.1	25.1	24.5	24.8	25.1	25.1
325	355	355	349	361	356	361	356	362	355	362	355
349	320	320	320	356	356	354	361	355	355	355	362
3250	3550	3550	3490	1805	1780	1805	1780	3620	3550	3620	3550
3490	3200	3200	3200	1780	1780	1780	1805	3550	3550	3550	3620
21.9	19.3	18.6	19.9	19.2	18.4	18.4	19.2	18.7	18.0	17.7	19.3
19.3	18.8	18.7	19.6	17.2	17.8	18.2	20.2	19.0	18.5	18.2	18.9
219	193	186	199	96	92	92	96	187	180	177	193
193	188	187	196	86	89	91	101	190	185	182	189

Kombination		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Besatzdichte		5	5	5	5	10	10	10	10	5	5	5	5
Nutzzeit	Tg	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
RFR	%	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	50	50
Mittlere RFE	%	56	58	60	53	72	74	77	76	69	68	69	70
		56	57	56	59	75	77	73	77	66	71	66	70
RFE	%	46	47	47	43	60	57	65	61	60	59	58	60
vord. Sektor		45	48	50	44	67	62	58	66	61	61	57	60
RFE	%	57	56	61	50	70	72	71	73	68	71	68	67
mittl. Sektor		65	58	58	59	69	72	73	75	74	68	70	70
RFE	%	60	62	64	61	76	79	80	75	67	68	65	67
hint. Sektor		64	65	66	56	78	82	79	79	74	77	71	75
Ø RFE	%	55	55	57	51	68	69	72	70	65	66	64	65
Sektoren		58	57	58	53	71	72	70	74	70	69	66	68
TR	°C	24.8	24.9	25.0	24.0	24.8	24.9	25.0	24.0	25.1	25.1	25.2	24.5
		25.1	24.8	24.7	24.6	25.1	24.8	24.7	24.6	24.7	24.5	24.5	24.9
Körpergewicht													
pro Ratte	g	352	352	350	349	346	346	348	347	352	365	349	352
		350	350	352	352	348	345	346	346	325	325	325	325
pro Käfig	g	1760	1761	1750	1472	3458	3458	3475	3465	1761	1826	1746	1761
		1750	1750	1761	1761	3475	3450	3458	3458	1625	1623	1629	1623
Trinkwasser-													
verbrauch													
pro Ratte	ml	20.4	19.5	20.7	20.2	23.3	21.4	22.7	23.1	18.0	18.3	19.5	19.1
		18.1	20.3	20.6	21.9	22.0	23.3	22.4	23.4	19.1	20.0	19.8	20.0
pro Käfig	ml	102	97	104	101	233	214	226	231	90	92	97	96
		91	102	103	109	220	233	224	234	95	100	99	100

Tab. 6: Mittelwerte der Messwerte aus der 1. und aus der 2. Messserie von Experiment 2 bei der Käfiganordnung 1 (n=4).

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	10	10	10	5	5	5	5	10	10	10	10
1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
50	50	50	50	70	70	70	70	70	70	70	70
82	79	81	83	78	79	81	81	88	90	94	95
76	84	80	84	80	79	81	80	90	92	91	95
70	72	68	77	70	69	74	75	80	78	85	93
72	77	75	74	70	74	70	74	77	88	82	91
77	79	79	82	79	75	79	81	87	86	93	94
78	78	77	82	78	79	76	81	88	92	88	95
79	81	82	84	80	77	80	79	89	89	95	94
81	85	83	87	76	81	77	78	90	92	89	94
75	77	76	81	76	74	78	79	85	83	91	94
77	80	78	81	75	78	75	78	85	91	86	93
25.1	25.1	25.2	24.5	24.7	25.0	24.8	25.1	24.7	25.0	24.8	25.1
24.7	24.5	24.5	24.9	24.5	24.8	25.1	24.8	24.5	24.8	25.1	24.8
346	353	348	346	373	365	373	371	362	353	362	362
323	324	326	324	365	369	365	365	353	362	353	353
3458	3533	3475	3458	1863	1826	1863	1853	3615	3533	3615	3615
3228	3240	3257	3237	1826	1844	1826	1826	3532	3615	3532	3532
19.4	22.0	21.5	21.9	18.1	16.7	17.7	18.0	20.2	20.8	20.5	21.5
21.1	21.6	21.2	21.6	17.4	18.3	17.6	17.7	20.8	21.4	20.8	21.4
194	220	215	219	90	83	89	90	202	208	205	215
211	216	212	216	87	92	88	89	208	214	208	214

Kombination	1	5	2	6	3	7	4	8	9	13	10	14	11	15	12	16	17	21	18	22	19	23	20	24
Nutzzeit Tg	1	1	3	3	5	5	7	7	1	1	3	3	5	5	7	7	1	1	3	3	5	5	7	7
RFR %	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	50	50	50	50	50	50	70	70	70	70	70	70	70	70
Besatzdichte	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
Käfiganordnung 1																								
Mittlere RFE %	56	73	57	75	58	75	56	76	67	79	69	82	67	81	70	83	79	89	79	91	81	93	81	95
Δ RFE 1 %		17		18		17		20		12		13		14		13		10		12		12		14
Käfiganordnung 2																								
Mittlere RFE %	68	76	66	81	70	80	70	77	78	88	80	86	77	87	80	91	90	96	90	96	93	98	96	100
Δ RFE 1 %		8		15		10		7		10		6		10		11		6		6		5		4

Tab. 7: Effekt der Besatzdichte (Δ RFE 1) auf die mittlere RFE bei der Käfiganordnung 1 und 2

Kombination	1	9	17	5	13	21	2	10	18	6	14	22	3	11	19	7	15	23	4	12	20	8	16	24
Nutzzeit Tg	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7
Besatzdichte	5	5	5	10	10	10	5	5	5	10	10	10	5	5	5	10	10	10	5	5	5	10	10	10
RFR %	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
Käfiganordnung 1																								
Mittlere RFE %	56	67	79	73	79	89	57	69	79	75	82	91	58	67	81	75	81	93	56	70	81	76	83	95
Δ RFE 2 %		11	12		6	10		12	10		7	9		9	14		6	12		14	11		7	12
Käfiganordnung 2																								
Mittlere RFE %	68	78	90	76	88	96	66	80	90	81	86	96	70	77	93	80	87	98	70	80	96	77	91	100
Δ RFE 2 %		10	12		12	8		14	10		5	10		7	16		7	11		10	16		14	9

Tab. 8: Effekt der RFR (Δ RFE 2) auf die mittlere RFE bei der Käfiganordnung 1 und 2

Kombination	1	2	3	4	9	10	11	12	17	18	19	20	5	6	7	8	13	14	15	16	21	22	23	24
Besatzdichte	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
RFR	%	30	30	30	30	50	50	50	70	70	70	70	30	30	30	30	50	50	50	50	70	70	70	70
Nutzzeit	Tg	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5
Käfiganordnung 1																								
Mittlere RFE	%	56	57	58	56	67	69	67	70	79	81	81	73	75	75	76	79	82	81	81	89	91	93	95
Δ RFE 3	%	26	27	28	26	17	19	17	20	9	9	11	11	43	45	46	29	32	31	31	19	21	23	25
Δ RFE 4	%	1	2	0	2	0	3	0	3	0	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	4	6
Käfiganordnung 2																								
Mittlere RFE	%	68	66	70	70	78	80	77	80	90	90	93	96	76	81	80	77	88	86	87	91	96	96	100
Δ RFE 3	%	38	36	40	40	28	30	27	30	20	20	23	26	46	51	50	47	38	36	37	41	26	26	30
Δ RFE 4	%	-2	2	2	2	2	-1	2	2	0	3	6	6	5	4	1	-2	-1	3	0	2	2	4	
Käfiganordnung 1 & 2																								
Δ RFE 5	%	12	9	12	14	11	11	10	10	11	11	12	15	3	6	5	1	9	4	6	8	7	5	5

Tab. 9: Effekt der Nutzzeit (Δ RFE 4 bzw. 3) auf die mittlere RFE bei der Käfiganordnung 1 und 2, sowie Effekt der Käfiganordnung selbst (Δ RFE 5)

Kombination	17			18				21				22				
Besatzdichte	5			5				10				10				
RFR %	70			70				70				70				
Nutzzeit Tg	1			3				1				3				
Tränkedeckel	S	K		S	K			S	K			S	K			
Mittlere RFE %	79	78		79	85			89	95			91	100			
s	2	4		1	2			3	3			4	0			
Δ RFE %		-1			6				6				9			
TR °C	24.6	25.3		24.9	24.9			24.6	25.3			24.9	25.3			
s	0.1	0.2		0.1	0.4			0.1	0.2			0.1	0.9			
Körpergewicht																
pro Ratte g	369	288		367	288			357	287			357	288			
s	6	3		4	3			5	3			5	3			
Trinkwasser- verbrauch																
pro Ratte ml	17.7	23.8		17.5	22.4			20.5	29.6			21.1	29.4			
s	1.0	1.8		1.4	1.4			0.8	2.7			1.5	3.1			
pro Käfig ml	89	119		87	112			205	296			211	294			
s	5	9		7	7			8	27			15	31			
NH ₃ - Konzentration ppm								<5	<5			<5	<103			
max.												5	140			

Tab. 10: Effekt eines Tränkedeckels mit Kanüle (K) gegenüber einem stumpfen Tränkedeckel (S) auf den Trinkwasserverbrauch bzw. auf die RFE (Δ RFE) und auf die NH₃-Konzentration in der Käfigluft.

5. DISKUSSION

Fragen über Unterschiede von Temperatur und rF zwischen Käfig und Tierraum bei der Zucht und Haltung von Labortieren tauchen immer wieder auf, entweder beim Planen und Einrichten von Labor-tierbereichen im Zusammenhang mit der Klimatisierung oder bei der Haltung von Tieren im Experiment. Bis vor wenigen Jahren waren die verschiedenen Käfigkonstruktionen für kleine Nagetiere kaum überblickbar, so dass es wenig sinnvoll erschien, solche Unterschiede zu untersuchen. In der Zwischenzeit sind aber die Bestrebungen um einheitliche Käfige für Labortiere, nicht zuletzt auch aus finanziellen Gründen, nicht fruchtlos geblieben. Es haben sich einige Standardkäfige durchgesetzt, die in vielen Ländern Europas zur Zucht und Haltung von Labortieren verwendet werden. Für die gebräuchlichsten Käfigtypen werden heute auch Standardgestelle zur Anordnung der Käfige im Raum eingesetzt. Diese Entwicklung brachte die Standardisierung der Labortierhaltung einen wesentlichen Schritt voran. Damit erschien es sinnvoll, die klimatischen Unterschiede zwischen Tierraum und einem solchen Standardkäfig zu untersuchen. Es war aber nicht die Absicht dieser Arbeit, die Auswirkungen solcher Unterschiede auf das Tierexperiment abzuschätzen, sondern lediglich Züchter und Experimentator darüber zu orientieren. Der Experimentator wird am besten abschätzen können, wie weit sich solche Unterschiede auf seine Experimente auswirken. In einem Tierraum soll nach versuchstierkundlichen Empfehlungen die Raumtemperatur nicht mehr als $1 - 2^{\circ}\text{C}$ um den Richtwert schwanken (28, 42). Für die Haltung von Ratten gibt die europäische Gesellschaft für Versuchstierkunde 22°C als Richtwert an (16). Diese Richtwerte und Schwankungsbereiche für Raumtemperaturen stützen sich nicht auf spezifische Untersuchungen, sondern auf die Erfahrung, dass ein Temperatureinfluss innerhalb des Schwankungsbereichs um den Richtwert, sich nicht störend auf die Reproduzierbarkeit von Tierexperimenten ausgewirkt hat (7, 28). Für Richtwerte der rF im Tierraum können noch weniger Untersuchungsergebnisse heran-

gezogen werden, da die Wirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Physiologie des Tieres noch sehr wenig untersucht ist (7). Europäische Fachkreise geben für die meisten Versuchstierarten einen Richtwert von $55 \pm 5\%$ an (28). Die Richtwerte aus amerikanischer Literatur sind nicht einheitlich. Die extremsten Richtwerte sind 45 - 50 % und 30 - 70 % rF (7, 42).

Experiment 1 und 2 konnten unter weitgehend konstanten Raumbedingungen durchgeführt werden. Die Mittelwerte der Raumtemperaturen lagen wegen der Wärmeabgabe durch die Nachbefeuchtungsanlage ca. 2 - 3 °C über dem empfohlenen Richtwert von 22 °C. Die Raumtemperaturen wichen an den extremen Punkten des Käfigbereichs max. $\pm 0,5$ °C von der Temperatur am Referenzpunkt im Raum ab. Die rF konnte bei entsprechenden Witterungsverhältnissen mit der Nachbefeuchtungsanlage gut in einem Toleranzbereich von $\pm 2\%$ rF, bei den 2 - 3 stündigen Messzyklen von Experiment 1 sogar von $\pm 1\%$ rF konstant gehalten werden. Die konventionelle Ventilationsseinrichtung (Abb. 1) erwies sich als genügend, um im ganzen Käfigbereich Temperatur und rF hinreichend konstant zu halten. Es genügte deshalb für die Vergleichsmessungen nur an einem Punkt im Raum Temperatur und rF zu messen. Es wurde aber darauf geachtet, dass der Messpunkt nicht direkt im Zuluftstrom, noch in den Konvektionsströmungen der Käfigfronten, noch nahe an einer Aussenwand zu liegen kam.

Die Temperatur und rF des Tierraumes dürfen nicht einfach auf den Käfig übertragen werden. Dies geht auch deutlich aus den vorliegenden Untersuchungen hervor. Wie Woods und Besch (6, 51) gezeigt haben, hängen die Unterschiede unter anderem signifikant von der Käfigkonstruktion ab. Die Unterschiede zum Tierraum sind bei konstanten Wärme- und Feuchtelasten am grössten bei geschlossenen Käfigen mit Filterdeckel und am kleinsten bei Drahtkäfigen. In ihnen kann sich beinahe kein Mikroklima aufbauen (6, 51).

Sämtliche Untersuchungen sind mit dem Makrolonkäfig Typ IV durchgeführt worden, und zwar weil er sich von den Ausmassen her von den vier Standardtypen (27, 50) am besten für die Haltung von Ratten geeignet hat. Woods und Besch (6, 51) führten ihre Untersuchungen zum Teil an grundsätzlich gleichen Käfigen mit etwas kleineren Ausmassen durch. Obwohl aus arbeitstechnischen

Gründen auch Drahtkäfige verwendet werden, hat sich heute bei der Zucht und Haltung von Ratten der geschlossene Kunststoffkäfig mit Drahtdeckel vielerorts durchgesetzt. Die Messungen sind bei Ratten durchgeführt worden, weil sie nach den Mäusen am häufigsten für Tierexperimente benutzt werden. Ihre Haltung erfordert aber wegen der Körpergrösse wesentlich mehr Raum. Bei Ratten kommt es daher, mehr als bei Mäusen, zu extremen Käfigverhältnissen, wenn bei beschränktem Platz eine grössere Anzahl Tiere unterzubringen sind. In versuchstierkundlichen Empfehlungen sind die Angaben über die Besatzdichte der Käfige nicht ganz einheitlich (28, 42). Europäische Fachkreise empfehlen für Ratten mit einem Körpergewicht von 350 g eine minimale Bodenfläche von 315 cm^2 pro Tier (28). Auf den Makrolonkäfig Typ IV übertragen, ergibt die empfohlene Summe der Körpergewichte somit 2000 g. Im Experiment 1 und 2 wurden die Messkäfige mit fünf und zehn adulten Ratten besetzt, die im Mittel 350 g wogen (Tab. 4 und 5). Mit fünf Ratten pro Makrolonkäfig Typ IV liegt die Besatzdichte ein wenig über dem minimal geforderten Richtwert. Mit zehn Ratten dagegen ist der Makrolonkäfig Typ IV nach den Empfehlungen massiv überbesetzt. Die Käfige wurden bei allen bekannten Untersuchungen dieser Art mit Holzspänen eingestreut. Ueber Art und Menge finden sich nur bei Woods (51) konkrete Angaben. Bei ihm wurden die Käfige 2,5 cm tief mit Fichtenholzspänen eingestreut. Die hier untersuchten Käfige wurden alle mit 500 g Sägespäne ca. 2 cm tief eingestreut.

Werden Käfige in einem Tierraum nicht direkt durch das Zuluftsystem belüftet, so hat die Ventilationsrate zwischen 6 und 18/h nur bei Drahtkäfigen einen signifikanten Einfluss auf den Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschied zwischen Käfig und Tierraum (6). Bei den vorliegenden Untersuchungen bestand ebenfalls die Möglichkeit, bei nicht zu kalter Aussenluft die Ventilationsrate des Tierraumes von 13/h auf 20/h zu erhöhen. Die Erhöhung wirkte sich jedoch nicht deutlich auf die Messergebnisse aus.

In den kleinen Tierkäfigen ist eine genaue, kontinuierliche Messung der rF erst mit elektronischen Messfühlern möglich geworden, deren Qualität in den letzten Jahren stark verbessert worden ist. Sie decken heute einen grösseren Messbereich ab,

sind genauer und weitgehend unempfindlich gegenüber verschiedenen Gasen; vor allem sind sie viel kleiner geworden. Simmons et al. (40) brauchten vor 12 Jahren bei ihren Untersuchungen zwei gut doppelt so grosse Feuchtemessfühler, um den Bereich von 40 - 84 % rF abdecken zu können. Die herkömmlichen Haarhygrometer eignen sich wegen ihrer Grösse, ihrer Trägheit und ihrer Ungenauigkeit in einen grösseren Messbereich - es konnte bis zu 10 % Abweichung beobachtet werden - nicht für derartige Untersuchungen. Mit den elektronischen Messfühlern kann dagegen auch in der Einstreu gemessen werden, denn sie sind ziemlich unempfindlich gegenüber Staub und Ammoniak. Die Kleinheit der Messfühler erlaubt es, jeden beliebigen Punkt im Käfig auszumessen. So konnten in der Luftschicht unmittelbar über der Einstreu deutliche Schwankungen der rF beobachtet werden. Der Einfluss der Einstreufeuchtigkeit nahm aber schon 3 cm über der Einstreu stark ab. Diese Tatsachen gaben Anlass, Temperatur und rF im Käfig 3 - 5 cm über der Einstreu und in einer weiteren Versuchsreihe in der Einstreu zu messen. Damit wurden die Extremwerte der Luftschicht unmittelbar über der Einstreu ebenfalls erfasst.

In den angeführten Arbeiten wurde, um die Verhältnisse im Käfig mit denen im Raum zu vergleichen, nur im Bereich über der Einstreu gemessen. Da die Einstreu im Käfig doch etwa 4 - 5 l des Käfigvolumens einnimmt, sollte sie bei solchen Messungen nicht unberücksichtigt gelassen werden.

Bei der Entwicklung einer Methode für Messungen über der Einstreu wurde klar, dass es ausschlaggebend ist, wie und wo im Käfig gemessen wird. Die teilweise unterschiedlichen mikroklimatischen Bereiche innerhalb des Käfigs treiben die Tiere dazu, sich in der Ruhephase an ganz bestimmten Orten im Käfig aufzuhalten. Ist der Messfühler zufällig an einem solchen Ort angebracht worden, so können die Tiere durch ihre Atmung, durch ihre körpereigenen Konvektionsströmungen oder durch direkten Körperkontakt mit dem Messfühler, die Messwerte extrem beeinflussen. Diese Einflüsse werden nicht sofort unterbrochen, wenn sich die Tiere wieder vom Fühler entfernen, sondern der Temperatureinfluss dauert, je nach Trägheit des Messfühlers, über längere Zeit fort, so dass im Mittel zu hohe Temperaturen ge-

messen werden. Die Trägheit des Messfühlers ist abhängig von seiner Masse und von der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Mediums. Da die rF von der Temperatur abhängt, wirken sich solche Einflüsse auch auf die Feuchtemessung aus, solange die Temperatur des Messfühlers nicht mit der Umgebung übereinstimmt. Die Messwerte der rF können auch extrem von der Einstreu beeinflusst werden, wenn es den Tieren im Käfig möglich ist, sie um die Fühlerspitze aufzuhäufen. Woods (51) hat die Schutzhülsen für die Messfühler an den beiden Stirnseiten der Käfige etwa 2,5 cm über der Einstreu angebracht. In Käfigen mit lebenden Tieren hat er etwa 2 - 3 mal grössere Werte als in Käfigen mit simulierten Feuchte- und Wärmelasten gemessen. Woods führt den Unterschied im wesentlichen darauf zurück, dass die Tiere die Schutzhülsen der Messfühler als Sitzstangen benutzt haben.

Besch (6) beschreibt seine Messmethoden nicht genau. Es ist aber auf Grund seiner teilweise sehr unterschiedlichen Messwerte anzunehmen, dass einzelne Tiere diese direkt beeinflusst haben dürften. In einem Käfig mit Ratten hat er bei einer Raumtemperatur von 24°C z.B. eine Trockenkugeltemperatur von 36°C gemessen, was beinahe der Körpertemperatur von Ratten entspricht. Simmons et al (40) haben die Messfühler, um den direkten Kontakt mit den Mäusen zu vermeiden, ausserhalb des Käfigs unter der Filterhaube angebracht. Murakami (32) und Weihe (44) wiederum beschreiben Messpunkte oder Messanordnung nicht ausführlich; derartige Messergebnisse lassen sich schlecht vergleichen oder in die Praxis übertragen.

In Experiment 1 verhinderte die Schutzeinrichtung in der Käfigmitte, dass die Messergebnisse extrem beeinflusst wurden. Dabei wurde die Maschenweite des Drahtgitters so gross gewählt, dass die Luftströmung im Käfig nicht wesentlich beeinflusst wurden. Die Aufwärmung des Schutzkäfigs durch die Tiere wirkte sich wegen der geringen Masse nicht messbar aus. Das Aufhäufen der Einstreu um den Messfühler wurde weitgehend dadurch verhindert, dass der Schutzkäfig bis an den Käfigboden reichte. Die Bewegungsfreiheit der Ratten war auch bei dichter Besetzung des Messkäfigs minimal eingeschränkt. Zudem konnten in den Käfigen Temperatur, rF und Luftbewegung bei üblicher Anordnung im Gestell kontinuierlich gemessen werden (Abb. 2 und 3). Die Messwerte,

die bei dieser Messanordnung erhalten wurden, repräsentieren sicher Temperaturen und rF, denen die Tiere im Käfig normalerweise ausgesetzt sind. In der Aktivphase, wenn alle Tiere in Bewegung sind, entsprechen die Messwerte beim Referenzmesspunkt im Käfig am ehesten den Werten, denen die Tiere tatsächlich ausgesetzt sind. In der Ruhephase, in der die Tiere meistens an einem Ort nahe zusammengedrängt liegen, ist es dagegen schwierig, Temperaturen zu messen, denen die Tiere während dieser Phase ausgesetzt sind. Die gegenseitige Erwärmung und Isolation bei der Gruppenhaltung können mit dieser Messanordnung nicht richtig erfasst werden.

Da die Messwerte nur unwesentlich von der Gruppierung der Tiere an einem bestimmten Ort im Käfig abhingen, konnten die Effekte von Besatzdichte, Käfiganordnung und Gestellart gut geschätzt werden.

Die vorliegenden Messergebnisse zeigen, dass es nicht bedeutungslos ist, in welcher Umgebung ein Käfig steht und mit wieviel Tieren er besetzt ist. Sowohl Käfiganordnung, wie auch Gestellart und Besatzdichte haben auf die Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Käfig und Raum einen signifikanten Einfluss. Auf die Käfigtemperatur wirkte sich die Käfiganordnung am stärksten aus. Zwischen den beiden extremen Stufen der Käfiganordnung (Käfig in einem leeren und in einem vollen Gestell mit minimalen Abständen zwischen den Etagen) wurde ein mittlerer Temperaturunterschied von 3°C gemessen. Die Art des Gestells, ob Konsolen oder Blechtafeln, wirkte sich mit $0,7^{\circ}\text{C}$ deutlich schwächer aus (Tab. 3). Wie die Messergebnisse von Kombination 2 in Tab. 2 zeigen, muss in einem massiv überbesetzten Käfig die Temperatur nicht unbedingt stark ansteigen. Unter dem Einfluss von Käfiganordnung und Gestellart aber bewirkte die Erhöhung der Besatzdichte von fünf auf zehn Ratten pro Käfig einen mittleren Temperaturanstieg von $1,5^{\circ}\text{C}$ (Tab. 3). Woods (51) fand bei ähnlicher Versuchsanordnung wie bei den Kombinationen 3 und 7 von Experiment 1 (Tab. 2), eine Temperaturdifferenz von $2,8^{\circ}\text{C}$ zwischen Käfig und Tierraum. Die Ergebnisse von Kombination 3 (TD: $2,8 - 3,0^{\circ}\text{C}$) und 7 (TD: $3,0 - 3,6^{\circ}\text{C}$) stimmen damit recht gut überein (Tab. 2). Die Taupunktstemperatur - ein Mass für die Luftfeuchtigkeit - differierte

bei Woods um 8°C , was einem rel. Luftfeuchtigkeitsunterschied von 30 % bei 24°C entspricht. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden wesentlich geringere Unterschiede der rF gemessen, bei "Kombination 3" 2 - 4 % und bei "Kombination 7" 5 - 9 % (Tab. 2, RFDK). Die beiden Messergebnisse weichen vermutlich wegen der unterschiedlichen Messanordnung voneinander ab. Denn die Messanordnung von Woods hinderte die Tiere nicht, durch Aufhäufen der Einstreu um den Messfühler oder durch die Atmung, die Messwerte zu beeinflussen. Bei all den untersuchten Kombinationen, auch in massiv überbesetzten Käfigen in maximal vollen Gestellen mit minimaler Luftbewegung über den Käfigen, konnte höchstens eine Abweichung von $\pm 6\%$ von der rF des Raumes gemessen werden, wobei in der Mehrheit der Kombination eine kleinere rF im Käfig als im Raum gemessen wurde (Tab. 2, Abb. 9 und 10). Es ist also nicht so, dass in besetzten Käfigen grundsätzlich eine grössere rF herrscht als im Tierraum. Die Zunahme der absoluten Luftfeuchtigkeit wird in besetzten Käfigen häufig durch den gleichzeitigen Temperaturanstieg wettgemacht, so dass der Anstieg der rF, wenn überhaupt, nur sehr gering ist. Korrigiert man aber die RFK-Werte auf Raumtemperatur, so wird deutlich, dass in den Käfigen gleiche oder grössere Luftfeuchten als im Raum geherrscht haben (Tab. 2, RFKK). Aus den Messergebnissen der "Kombination 4 und 6" kann gefolgert werden, dass Blechtablare bei einem Gestell den Ausgleich der Luftfeuchtigkeit zwischen Käfig und Raum hindern können. Die rF über der Einstreu wurde dabei etwa gleichviel erhöht, wie bei der Aenderung der Besatzdichte von fünf auf zehn Ratten pro Käfig (Tab. 3).

Im untersuchten Käfigtyp haben die Tiere einen intensiven Kontakt mit der Einstreu, sodass deren Feuchte und Temperatur direkt auf sie einwirken können. Die Ring-tail disease (25) bei jungen Ratten, die bei einer rF des Raumes unter 40 % vermehrt auftritt, lässt sich weitgehend vermeiden, wenn man die Tiere in geschlossenen Käfigen auf Einstreu hält. Es ist deshalb anzunehmen, dass durch die Wirkung der Einstreufeuchtigkeit in den geschlossenen Käfigen, die Zirkulationsstörungen weitgehend verhindert werden. Temperatur und rF können sich aber auch indirekt auf die Tiere auswirken, indem sie ein Keimwachstum in der Einstreu begünstigen (17). In der Einstreu verhalten sich Temperatur und rF zueinander anders als über der Einstreu; die Ursache liegt in den hygrokopischen Eigenschaften (Sorptions-eigenschaften) der Einstreu. Aus diesen Gründen wurden Temperatur und rF in der Einstreu zusätzlich, und zwar in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren untersucht.

Als Einstreu werden die verschiedensten hygrokopischen Materialien wie Papierschnitzel, Flachsstengel, Abfälle von Maiskolben, Erdnussschalen etc. verwendet (22). Weitaus am meisten werden aufgearbeitete Hobel- und Sägespäne dafür benutzt. Seit einigen Jahren werden auch Holzgranulate von verschiedener Form und Feinheit auf dem Markt angeboten. Wegen der Verletzungsgefahr verarbeitet man für Einstreu vorwiegend Weichhölzer wie Fichte, Tanne und Föhre.

Die Messkäfige in Experiment 1 und 2 wurden mit 500 g entstaubten Sägespänen eingestreut, die zu 90 % von Fichten- und zu 10 % von Tannenholz stammten. Eine Verminderung der Einstreumenge auf 350 g bei einzelnen Käfigen brachte keine deutliche Veränderung der Messwerte.

In einem besetzten Käfig wird der Einstreu durch die Ausscheidungen der Tiere und durch den Trinkwasserverlust dauernd Feuchtigkeit zugeführt. Diese verteilt sich durch Diffusion und durch die Aktivität der Tiere in der ganzen Einstreu. Die Einstreu saugt also einerseits flüssiges Wasser auf und absorbiert andererseits dampfförmiges Wasser aus der umgebenden Luft bis der Fasersättigungspunkt des Holzes erreicht oder bis die Einstreu-feuchtigkeit mit der umgebenden Luftfeuchtigkeit im Gleichgewicht ist. Ueber dem Fasersättigungspunkt vermag Holz noch zu-

sätzlich bis zur Wassersättigung flüssiges Wasser aufzunehmen. Das Gesetz des Feuchtgleichgewichts, nach dem sich bei bestimmter Luftfeuchtigkeit und Temperatur eine bestimmte Holzfeuchtigkeit einstellt, herrscht aber nur unterhalb des Fasersättigungspunktes. Steigt die r_F in der Einstreu höher als im Raum, so wird wieder Feuchtigkeit an die Umgebung abgegeben. Die Feuchtigkeitsabgabe der Einstreu ist aber begrenzt durch ihre Oberfläche, durch die Luftbewegung an der Oberfläche, durch die Temperatur und durch das Feuchtigkeitsgefälle (Dampfdruckgefälle) zur Umgebung hin (39).

Die Bestimmung der r_F in der Einstreu (RFE) mit der indirekten Methode über die Holzfeuchtigkeit ist einfach; sie kann mit Apparaten durchgeführt werden, die üblicherweise in einem Labor vorhanden sind. Die abgebildeten Sorptionskurven, aus denen anhand der Holzfeuchte der entsprechende r_F -Wert abgelesen werden kann, stimmen nicht nur für Fichtenholz, sondern mit hinreichender Genauigkeit auch für andere Holzarten (21, 43). Einzelne Untersuchungen mit Einstreu von anderer Herkunft zeigten keine abweichenden Messergebnisse.

Verteilung und Maximalwert der Einstreufeuchtigkeit können am besten aus Bestimmungen von Einzelproben abgelesen werden (Abb. 13 - 16). Die Messwerte zeigen, dass sich die Feuchtigkeit nicht gleichmässig in der Einstreu verteilt (Abb. 13 - 15). Bei den meisten Kombinationen verteilte sich die Feuchtigkeit so, dass nassfeuchte Stellen nicht auftraten. Die extremen Feuchtigkeitsunterschiede bei einzelnen Käfigen sind auf die ungleichmässige Verteilung der Einstreu zurückzuführen, denn bei dicker Einstreuschicht wird die Diffusion der Feuchtigkeit an die Oberfläche verzögert. Die Gesamtbestimmungen erfassten die ganze Einstreu in den einzelnen Käfigen, so dass diese Messwerte sich gut als Vergleichswerte eigneten, sowohl um den Unterschied zum Raum darzustellen, als auch um den Effekt der einzelnen Faktoren abzuschätzen. Die Messwerte aus den Gesamtbestimmungen zeigen eine gute Uebereinstimmung mit den Mittelwerten aus den drei Einzelproben, sie wurden deshalb als mittlere RFE-Werte der einzelnen Käfige bezeichnet (Tab. 4 - 10).

Aus den Messergebnissen der Einzelproben wie auch aus den Gesamtbestimmungen geht deutlich hervor, dass die Einstreufeuchtig-

keit nicht massgebend von der Nutzzeit der Einstreu bestimmt wird. In allen untersuchten Käfigen wirkte sich die Nutzzeit innerhalb von 7 Tagen gar nicht oder nur unbedeutend auf RFE aus (Tab. 9 und Abb. 18). Es ist also nicht so, dass die Einstreu mit zunehmender Nutzzeit immer feuchter wird, sondern die RFE stellt sich schon im Laufe des ersten Nutztags auf ein Niveau ein, das in den folgenden sechs Tagen nur unwesentlich erhöht wird. Eine Ausnahme davon scheinen die Käfige zu sein, bei denen schon nach dem ersten Nutztage die RFE über 90 % angestiegen ist. Bei diesen konnte über die ganze Nutzzeit von sieben Tagen eine stete, gleichmässige Zunahme der RFE gemessen werden (Abb. 15). Wenn die RFE über 90 % ansteigt, so scheint die Feuchtigkeitsabgabe gestört zu sein. Bei solchen Käfigen waren in der Einstreu auch nassfeuchte Stellen anzutreffen. Vom Verlauf der Einstreufeuchtigkeit her, drängt sich innerhalb einer siebentägigen Nutzzeit kein besonderer Tag auf, an dem die Einstreu gewechselt werden müsste, um ein übermässiges Ansteigen der RFE zu verhüten.

Eine hohe Besatzdichte des Käfigs muss die Einstreu nicht unbedingt übermässig belasten. Die Steigerung der Besatzdichte von fünf auf zehn Ratten pro Käfig bewirkte im Mittel eine Zunahme der RFE um 10 - 20 % (Tab. 7 und Abb. 17). So erhöhten zehn adulte Ratten in einem Käfig bei der Käfiganordnung 1 die RFE bei einer RFR von 50 % nicht über 90 % (Abb. 14 und 16). Die kritische Grenze der Feuchtigkeitsaufnahme bzw. -abgabe der Einstreu schien jedoch bei einer RFR von 70 % leicht überschritten, da schon nach dem ersten Nutztage die RFE bei einzelnen Käfigen über 90 % angestiegen war (Abb. 15). Wie aus Tab. 7 zu entnehmen ist, wirkt sich der Effekt der Besatzdichte auf die RFE bei einer RFR von 70 % weniger aus als von 30 %. Der Grund dafür liegt bei den Sorptionseigenschaften des Holzes. Aus den Graphiken über die Beziehung zwischen Holzfeuchtigkeit und rF (Abb. 5 und 6) ist ersichtlich, dass z.B. eine Erhöhung der Holzfeuchtigkeit um 5 % sich bei 30 % rF stärker auswirkt als bei 70 %.

Bei der Käfiganordnung 1 erhöhte sich gegenüber der Käfiganordnung 2 die Temperatur in den Käfigen in und über der Einstreu und erniedrigte dadurch die rF über der Einstreu (Tab. 2, RfK).

Dies bewirkte eine Erhöhung des Dampfdruckgefälles gegenüber der Einstreu. Ein erhöhtes Dampfdruckgefälle bei erhöhter Temperatur verbessert, wie bereits erwähnt, die Feuchtigkeitsabgabe der Einstreu. Die Luftgeschwindigkeit über den Käfigdeckeln bei der Käfiganordnung 2 von 10 - 25 cm/s, vermochte die erhöhte Feuchtigkeitsabgabe der Einstreu bei der Käfiganordnung 1 nicht wett zu machen, obwohl bei dieser eine fünfmal kleinere Luftbewegung herrschte. Eine Luftbewegung von dieser Stärke wird deutlich als Zugluft empfunden und man hätte vermuten können, dass die Feuchtigkeitsabgabe der Einstreu wesentlich verbessert würde. Der Unterschied von RFE zwischen Käfiganordnung 1 und 2 betrug bei gleicher RFR, bei Käfigen mit fünf Ratten im Mittel 12 % und bei Käfigen mit zehn Ratten 6 % (Abb. 19 und Tab. 9). Am Ausmass dieser Unterschiede trugen sicher zwei weitere Nebenwirkungen der erhöhten Luftbewegung bei. Sie bewirkte nämlich, dass sich die Ratten unter der Futterraufe verkrochen, um sich vor der Zugluft zu schützen. Durch den andauernden Kampf um den wärmeren Platz, wurde die Einstreu in dem hinteren Käfigbereich aufgehäuft. Dadurch verlängerte sich die Diffusionsstrecke der Feuchtigkeit an die Oberfläche der Einstreu und verzögerte die Feuchtigkeitsabgabe. Im weiteren bewirkte die erhöhte Luftbewegung eine deutliche Abkühlung der Einstreu durch den Entzug der Verdampfungswärme. An einzelnen Orten konnten in der Einstreu 1 - 2 °C niedrigere Temperaturen als im Tierraum gemessen werden. Damit wurde die Feuchtigkeitsabgabe aus der Einstreu bei der Käfiganordnung 2 zusätzlich erschwert.

Die rF in belüfteten Tierräumen schwankt in unseren Anlagen bei 22 °C über das ganze Jahr gesehen zwischen 10 % und 70 %. Die untersuchten Stufen der RFR (30, 50 und 70 %) liegen für unsere Verhältnisse in einem normalen Schwankungsbereich. Solche Schwankungen wirken sich, wie die Messungen gezeigt haben, deutlich auf die RFE aus. Nimmt die RFR zu, so steigt auch die RFE an, jedoch nicht im gleichen Mass. Eine Zunahme der RFR von 50 % auf 70 %, erhöhte die RFE im Mittel um 10 % (Tab. 8 und Abb. 18). Der Effekt war etwa gleich, wie bei einer Steigerung der Besatzdichte von fünf auf zehn Ratten. Bei 70 % RFR war der Trinkwasserverbrauch deutlich kleiner als bei 30 %, was sich wahrscheinlich auf die Ausscheidungen der Tiere und damit auf

RFE auswirkte. Das Dampfdruckgefälle hingegen war bei 70 % kleiner als bei 30 %, was die Feuchtigkeitsabgabe der Einstreu wieder erschwerte und den verminderten Trinkwasserverbrauch wahrscheinlich aufwog. Wieviel diese Faktoren im einzelnen die RFE beeinflusst haben, ist schwer abzuschätzen (Tab. 4 und 5). Innerhalb einer Kombination wirkte sich der unterschiedliche Trinkwasserverbrauch nicht signifikant auf die RFE aus. Nimmt jedoch der Trinkwasserverbrauch bzw. der Trinkwasserverlust durch die Verwendung einer anderen Tränkeeinrichtung wesentlich zu, z.B. durch die Verwendung eines anderen Tränkedeckels, so wirkt sich das deutlich auf RFE aus. Die Ratten scheiden mit dem Harn nur etwa ein Drittel der Flüssigkeit aus, die sie aufgenommen haben (5). Was aber als Trinkwasserverlust in die Einstreu tropft, muss sich demnach etwa dreimal soviel auswirken. In Voruntersuchungen konnte dies wiederholt nachgewiesen werden. Auf der Suche nach einem Tränkedeckel, bei dem der Trinkwasserverlust möglichst gering und konstant war, wurden auch Tränkedeckel mit Kanülen untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass Tränkedeckel mit Kanülen gegenüber stumpfen Tränkedeckel den Trinkwasserverbrauch bei adulten Ratten erheblich steigern. Aus der deutlichen Zunahme von RFE und auf Grund von Beobachtungen, muss der Mehrverbrauch an Trinkwasser als Trinkwasserverlust betrachtet werden (Tab. 10). Der höhere Trinkwasserverlust wurde bei den Tränkedeckel mit Kanülen vor allem durch ungewolltes und spielerisches Berühren der Kanülenspitze und durch Erschütterungen des Käfigs von den Ratten bewirkt. Der Trinkwasserverlust hängt ebenfalls vom Durchmesser der Trinköffnung im Tränkedeckel ab. Die Methode zur Bestimmung der Einstreufeuchtigkeit kann auch zur Beurteilung von Tränkesystemen benutzt werden, bei denen der Trinkwasserverbrauch pro Käfig nicht kontrolliert werden kann. Wie erwähnt, kann sich die Einstreufeuchtigkeit auch indirekt über ein Keimwachstum in der Einstreu auf die Tiere auswirken. Vom Gesichtspunkt der Hygiene aus muss die Einstreu zusammen mit den Futterresten und Ausscheidungen der Tiere als Substrat betrachtet werden, auf dem Keimwachstum möglich ist, wenn Temperatur und Feuchtigkeit genügend ansteigen. Der arbeitsintensive Käfigwechsel wird weitgehend vom Feuchtegehalt der Einstreu abhängig gemacht (17). Ein anschauliches Beispiel vom Zusammen-

hang zwischen Einstreufeuchtigkeit und Keimwachstum ist die Ammoniakproduktion von harnstoffspaltenden Bakterien in der Einstreu. Bis zu einer bestimmten mittleren RFE verteilt sich die Feuchtigkeit in der Einstreu genügend rasch, um extrem feuchte Stellen zu vermeiden und somit auch ein Keimwachstum zu verhindern. Wenn sich aber die Wirkung einzelner Faktoren summiert, so kann die RFE derart ansteigen, dass ein Keimwachstum in der Einstreu begünstigt wird (Tab. 4 und 5), was auch geruchlich wahrnehmbar ist. Ammoniak ist bei geringen Konzentrationen bereits schädlich (2, 10) und seine Anwesenheit in der Käfigluft ist deshalb unerwünscht. In Käfigen, bei denen die RFE nicht über 90 % anstieg, stieg auch die Ammoniakkonzentration in der Käfigluft nicht über 5 ppm an (Abb. 20). Vermutlich können in der Einstreu mit einer RFE über 90 % noch andere Keime wachsen, doch das zu untersuchen wäre der Gegenstand einer weiteren Arbeit. Gamble und Clough (15) haben ebenfalls die Ammoniakproduktion in Tierkäfigen untersucht, jedoch nur im Zusammenhang mit der Besatzdichte des Käfigs, der Temperatur und rF des Tierraumes. Die Verhältnisse im Käfig selber haben sie dabei nicht berücksichtigt. Soll in einem Käfig die RFE nicht so hoch ansteigen, dass in der Einstreu ein Keimwachstum begünstigt wird, so muss bei hoher RFR darauf geachtet werden, dass die Käfige nicht zu dicht besetzt werden und dass das Tränkesystem mit geringem Trinkwasserverlust arbeitet. Eine Verkürzung der Nutzzeit der Einstreu wirkt sich kaum auf die RFE aus. Eine erhöhte Luftbewegung über den Käfigen vermag wohl die Konzentration von Ammoniak in der Käfigluft zu verhindern, auf die RFE scheint sie aber bis zur untersuchten Stärke wenig Einfluss zu haben. Die extremen Verhältnisse bei der Käfiganordnung 1 liessen wegen der dichten Anordnung der Käfige auf Blechtafeln, die direkt an die Raumwand anstiessen (Abb. 1), auf minimale Belüftungsverhältnisse schliessen. In der Käfigluft konnten auch deutlich erhöhte CO_2 -Werte gemessen werden (Tab. 4). Diese Werte müssen aber nach den heutigen Erkenntnissen nicht als bedenklich angesehen werden. Jede Art von Filterdeckel auf einem geschlossenen Käfig lässt die CO_2 -Konzentration in der Käfigluft auf ein mehrfaches davon ansteigen (38).

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei üblicher Haltung von Ratten können zwischen dem verwendeten Standardkäfig und dem Tierraum signifikante Temperatur- und rF - Unterschiede gemessen werden. Ueber der Einstreu hängen solche Unterschiede von der Käfiganordnung, von der Besatzdichte und von der Gestellart ab. Die Messwerte solcher Untersuchungen müssen immer im Zusammenhang mit der Messanordnung und dem Messpunkt im Käfig beurteilt werden. Die Temperaturunterschiede müssen als beachtlich eingestuft werden, da sie die tolerierten Grenzen für die Abweichung der Raumtemperatur vom Richtwert, auch bei empfohlener Besatzdichte und üblicher Käfiganordnung, überschreiten. Die Unterschiede der rF sind gering und dürfen auf Grund des empfohlenen Schwankungsbereichs für den Tierraum als wenig bedenklich eingestuft werden.

In der Einstreu unterliegt die rF anderen Gesetzmässigkeiten als über der Einstreu. Der Einfluss der Einstreufeuchtigkeit kann bis etwa 3 cm über der Einstreu deutlich messbar sein. Die Einstreufeuchtigkeit ist abhängig von der Besatzdichte des Käfigs, der rF des Tierraumes, der Käfiganordnung und dem Trinkwasserverlust des Tränkesystems. Die Nutzzeit der Einstreu und die Luftbewegung über dem Käfig bis zu 20 cm/s wirken sich nicht wesentlich auf die rF in der Einstreu aus. Die Ammoniakproduktion von harnstoffspaltenden Bakterien in der Einstreu ist abhängig von der RFE. Die CO₂-Konzentration steigt bei diesem Standardkäfig auch bei massiver Besetzung und extrem dichter Käfiganordnung nicht bedenklich an.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit (rF) sind Klimafaktoren, die die Reaktion eines Tiers im Versuch beeinflussen. Dies wird von zahlreichen tierexperimentellen Arbeiten bestätigt. Bei der Haltung und Zucht von Labortieren versucht man diesen Erkenntnissen Rechnung zu tragen, indem man sich bemüht, die Haltungsbedingungen tiergerecht zu standardisieren. Im Zusammenhang mit dem Tierschutz sind deshalb für den Tierraum, wie auch für die Käfighaltung selbst Richtwerte mit zulässigen Abweichungen erarbeitet worden. Die Richtwerte für Temperatur und rF beschränken sich aber auf die Raumbedingungen, eventuelle Abweichungen bei einer Käfighaltung bleiben unberücksichtigt.

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, diesen Unterschieden nachzugehen und sie bei einem Standardkäfig unter verschiedenen Einflüssen bei der Haltung von Ratten zu messen. Dabei wurde in einem ersten Experiment Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zwischen Tierraum und Käfig über der Einstreu und in einem zweiten zwischen Tierraum und Käfig in der Einstreu untersucht. Die Unterschiede zum Käfig über der Einstreu wurden in Abhängigkeit der Besatzdichte, der Käfiganordnung und der Gestellart und in der Einstreu in Abhängigkeit der Nutzzeit der Einstreu, der Besatzdichte des Käfigs, der rF des Tierraumes und der Käfiganordnung untersucht. Zur Messung von Temperatur und rF wurden sehr kleine elektronische Feuchte- und Temperaturmessfühler eingesetzt. Für die Bestimmung der rF in der Einstreu wurde eine einfache, indirekte Methode auf der Grundlage der Holzphysikalischen Gesetze erarbeitet und angewendet. Zwischen Messpunkt über der Einstreu, wie auch zwischen Einstreu des Käfigs und Tierraum konnten signifikante Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede gemessen, sowie deren Abhängigkeit von den untersuchten Faktoren geschätzt werden. Ergänzend wurden in der Käfigluft vereinzelt NH_3 - und CO_2 -Konzentrationen bestimmt. Zwischen NH_3 -Konzentrationen und Einstreufeuchtigkeit zeigte sich in bestimmten Käfigen ein deutlicher Zusammenhang. Bei extrem dichter Käfiganordnung auf Blechtafeln konnten deutlich höhere CO_2 -Konzentrationen als im Raum gemessen werden.

Die aufgezeichneten Messergebnisse sollen Züchter und Experimentator über die Temperatur- und rel. Luftfeuchtigkeitsunterschiede zum Raum aufmerksam machen, mit denen sie bei einer üblichen Käfighaltung von Labortieren zu rechnen haben. Die Untersuchungen in der Einstreu geben zudem Auskunft über deren rF, sowie deren Abhängigkeit von einzelnen Faktoren. Da ein Keimwachstum in der Einstreu massgebend von der Einstreufeuchtigkeit abhängt, können die Messergebnisse mithelfen, bestimmte hygienische Massnahmen bei der Haltung und Zucht von Labortieren wirkungsvoller anzuwenden.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. Allander, C. und Abel, E. (1973)
Some aspects of the differences of air conditions inside
a cage for small laboratory animals and its surroundings
Z. Versuchstierk. 15, 20 - 34
2. Anderson, D.P., Beard, C.W. und Hanson, R.P. (1964)
The adverse effects of ammonia on chickens including
resistance to infections with newcastle disease virus
Avian Dis 8, 369 - 379
3. Baetjer, A.M. (1968)
Role of environmental temperature and humidity in sus-
ceptibility to disease
Arch. environ Hlth. 16, 565 - 570
4. Beach, J.E. (1970)
The effects of environment on the toxicity testing of
drugs
Carworth Europe Collected Papers 4, 71 - 77
5. Bellamy, D., Lamming, P.A. und Stevenson, A. (1970)
Daily patterns of feeding and excretion in rats confined
to metabolism cages: strain and age differences
Lab. Anim. 4, 215 - 225
6. Besch, E.L. (1975)
Animal cage room dry-bulb and dew-point temperature
differentials
ASHRAE Trans. 81, 549 - 558
7. Besch, E.L. (1980)
Environmental quality within animal facilities
Lab. Anim. Sci. 30, 2, 385 - 406
8. Chevillard, L., Bertin, R. und Cadot, M. (1967)
The influence of rearing temperature on some physiologi-
cal characteristics of small laboratory animals
In: Husbandry of Laboratory Animals ed. by M. L.
Conalty Academic Press London New York
9. Clough, G. (1976)
The immediate environment of the laboratory animal
In: The Control of the Animal House Environment
ed. by McSheehy, T. Laboratory Animals LTD, London
10. Dalman, T. (1956)
Mucous flow and ciliary activity in the trachea of
healthy rats exposed to respiratory irritant gases
(SO₂, NH₃, HCHO)
Acta physiol. scand. 36 suppl. 123
Stockholm

11. Deutsche Industrie Normen (1977)
Prüfung von Holz, Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes
DIN 52 183 Beuth Verlag, Berlin 30 und Köln 1
12. Dixon, W.J. und Brown, M.B. (1979)
BMDP-79, Biomedical Computer Programms P-Series
University of California Press Berkely, London
13. Festing, F.W. (1980)
International Index of Laboratory Animals
Medical Research Council Laboratory Animals Center
14. Fuhrmann, G.J. und Fuhrmann F.A. (1961)
Effects of temperature on the action of drugs
Ann. Rev. Pharmacol. 1, 65 - 78
15. Gamble, M.R. und Clough, G. (1976)
Ammonia building-up in animal boxes and its effect on
rat tracheal epithelium
Lab. Anim. 10, 93 - 104
16. Gesellschaft für Versuchstierkunde (1974)
Planung, Struktur und Errichtung von Versuchstierbe-
reichen tierexperimentell tätiger Institutionen
Veröffentlichung Nr. 1, zweite Auflage Basel 1974
17. Gesellschaft für Versuchstierkunde (1977)
Hygiene-Empfehlungen für Versuchstierbereiche Teil 1
Veröffentlichung Nr. 5, Basel 1977
18. Heine, W. (1965)
Bedeutung der Standardisierung in der Versuchstier-
haltung
Z. Versuchstierk. 7, 100 - 106
19. Herrington, L.P. (1940)
The heat regulations of small laboratory animals at
various environmental temperatures
Amer. J. Physiol. 129, 123 - 139
20. Hurni, H. (1969)
Einflüsse von Umweltfaktoren auf das Versuchstier
In: Das Versuchstier Bibliotheca Microbiologica Nr. 7
S. Karger Basel New York
21. Kollmann, F. (1951)
Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe Bd. 1
Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, J.F.
Bergmann / München
22. Kraft, M. Lisbeth (1980)
The manufacture, shipping and receiving and quality
control of rodent bedding materials
Lab. Anim. Sci. 30 (2) Part II, 366 - 376

23. Laroche, M.L. (1965)
Influence of environment on drug activity in laboratory animals
Fd. Cosmet. Toxicol. Vol. 3, 177 - 191
24. Linder, A. (1969)
Planung und Auswertung von Versuchen
Birkhäuser-Verlag Basel und Stuttgart (1969)
25. Lindsey, J.R., Conner, M.W. und Baker, H.J. (1978)
Physical, chemical and microbiological factors affecting biologic response
In: Laboratory Animal Housing 31 - 43 (51)
26. Maisin, J. (1970)
The effects of environment
Carworth Europe Collected Papers 4, 1 - 9
ed. by A.M. Brown
27. Meister, G. (1965)
Versuchstierkäfige für die Haltung und Zucht von Kleinnagern
Z. Versuchstierk. 7, 144 - 153
28. Merckenschlager, M. und Wilk, W. (1979)
Gutachten über tierschutzgerechte Haltung von Versuchstieren - Gutachten über Tierversuche, Möglichkeiten ihrer Einschränkung und Ersetzbarkeit
Schriftenreihe Versuchstierkunde 6, Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg
29. Mossel, D.A.A. (1969)
Nahrungsmittel als Umwelt für Mikroorganismen, die Lebensmittel gesundheitsschädlich machen
Separatdruck aus "alimenta" 8, 8
Zentralinstitut für Ernährungsforschung TNO Zeist, Holland, Publikationsnummer 560
30. Mühlebock, O., Nomura, T. (1968)
Experimental animals in cancer research
Verlag: Maruzen Co., LTD. Tokyo
Japanese Cancer Association Gann Monograph 5
31. Müller, G. und Kiessig, R. (1977)
Einführung in die Versuchstierkunde, Bd. 1, Allgemeine Versuchstierkunde
VEB Gustav Fischer Verlag Jena 1977
32. Murakami, H. (1971)
Differences between internal and external environments of the mouse cage
Lab. Anim. Sci. 21 (5), 680 - 684

33. Nomura, T., Yamauchi, Ch. (1968)
Environment and physiological status of experimental animals
In: Experimental Animals in Cancer Research (30)
34. Pirt, J.S. (1975)
Principles of Microbe and Cell Cultivation
Blackwell Scientific Publications, Oxford London
Edinburgh Melbourne
35. Porter, G. (1964)
The effects of microenvironmental temperature on weight gain in mice
J. Inst. Anim. Tech. 15, 17 - 21
36. Quevauviller, A. und Binet, P. (1960)
Température ambiante et activité des médicaments chez l'homéotherme
Prod. Pharm. 15, 1, 3 - 9
37. Sabourdy, M. (1967)
Les Facteurs écologiques dans l'expérimentation animale
In: L'animale de laboratoire dans la recherche biologique et médicale
Presses Universitaires de France, Paris
38. Serrano, L.J. (1971)
Carbon dioxide and ammonia in mouse cages: Effects of cage covers, population, and activity
Lab. Anim. Sci. 21 (1), 75 - 85
39. McSheehy, T.W. (1976)
Components of the thermal environment
In: The Control of the Animal House Environment (9)
40. Simmons, M.L., Robie, D.M., Jones, J.B. and Serrano, L.J. (1968)
Effect of a filter cover on temperature and humidity in a mouse cage
Lab. Anim. 2, 113 - 120
41. Spiegel, A. (1976)
Versuchstiere - Eine Einführung in die Grundlagen der Zucht und Haltung
Gustav Fischer Verlag Stuttgart 1976
42. U.S. Departement of Health, Education, and Welfare (1974)
Guide for the care and use of laboratory animals
U.S. Governement Printing Office Washington, D.C. 20402
43. Vorreiter, L. (1949, 1958)
Holztechnologisches Handbuch Bd. 1 und 2
Verlag Georg Fromme & Co, Wien und München

44. Weihe, W.H. (1964)
 Der Einfluss der Temperatur als Faktor der physikalischen Umwelt auf den Stoffwechsel der Ratte
 In: Die Umwelt der Versuchstiere und ihre Standardisierung im biologischen Test
 Verlag Hans Huber Bern und Stuttgart
45. Weihe, W.H. (1965)
 Kleinklima, Klima und Wetter in der Versuchstierhaltung
 Z. Versuchstierk. 7, 116 - 127
46. Weihe, W.H. (1965)
 Temperature and humidity climatograms for rats and mice
 Lab. Anim. Care 15 (1), 18 - 28
47. Weihe, W.H. (1970)
 Physiological responses to heat and cold in laboratory animals
 Carworth Europe Collected Papers 4, 10 - 22
48. Weihe, W.H. (1973)
 The effect of temperature on the action of drugs
 The Pharmacology of thermoregulation - ed. by
 P. Lomax and E. Schonbaum, Karger Basel
49. Weihe, W.H. (1976)
 The effects on animals of changes in ambient temperature and humidity
 Laboratory Animal Handbooks 7 ed. by T. McSheehy
 Control of the Animal House Environment
 Verlag Laboratory Animals LTD
50. Weihe, W.H. (1978)
 Richtwerte der Belegungsdichte von Standardkäfigen für kleine Versuchstiere
 Z. Versuchstierk. 20, 305 - 309
51. Woods, J.E. (1978)
 Interactions between primary (cage) and secondary (room) enclosures
 In: Laboratory Animal Housing p. 65 - 83
 National Academy of Sciences Washington, D.C.

Ich danke allen, die mir bei der Dissertation behilflich gewesen sind, insbesondere

Herrn Prof. Dr. K. Zerobin für die Erlaubnis zur Durchführung der Experimente am Institut für Zuchthygiene, sowie für die Begleitung und Durchsicht der Arbeit,

Herrn Prof. Dr. R. Wyler für seine Bemühungen als Korreferent, Herrn Dr. H. Hurni, Leiter der Tierfarm AG in Sisseln, und Herrn Dr. W. Rossbach, Leiter des Instituts für biologisch-medizinische Forschung in Füllinsdorf, für das Interesse und für die Beratung beim Einengen der Problemstellung,

Herrn Dr. E. Eggenberger für die Beratung bei der Versuchsplanung und für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung der Messergebnisse,

Frä. L. Ammann für die sorgfältige Ausführung der Schreibarbeiten.

Mein besonderer Dank gilt auch meiner lieben Frau, die mich bei der Durchführung der Dissertation immer wieder ermuntert hat.

LEBENS LAUF

26. März 1947	In Basel geboren
1954 - 1957	Primarschule in Binningen, BL
1958 - 1967	Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium in Basel Maturitätsabschluss Typus C
1967 - 1969	Studium an der Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Fakultät der Univer- sität Basel 1. Propädeutikum
1969 - 1973	Studium an der Veterinär-Medizinischen Fakultät der Universität Zürich
Frühjahr 1973	Diplomabschluss als Tierarzt
1973 - 1974	Fleischschau am Städtischen Schlachthof Zürich
1974	Heirat mit Eva Gschwind von Zürich
1974 - 1975	Assistent in der tierärztlichen Praxis in Schötz, LU Rückkehr an die Veterinär-Medizinische Fakultät der Universität Zürich
1975 - 1976	Assistent am Institut für Zuchthygiene Mithilfe bei der Leitung und tierärzt- lichen Betreuung der Versuchstierzucht
1976 - 1977	Beurlaubter Studienaufenthalt am Ver- suchstierzuchtbetrieb der Erasmus Uni- versität Rotterdam, NL
1977 - 1981	Weiterführung meiner versuchstierkund- lichen Tätigkeit am Institut für Zucht- hygiene Erarbeiten der Dissertation

